



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para  
aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la  
empresa  
Cogorno S.A Trujillo”

---

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AUTOR**

Wilmer Francisco Idrogo Cruzado

**ASESOR**

Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Sistemas y Planes de Mantenimiento.

**TRUJILLO – PERÚ**

2016

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”

---

Wilmer Francisco Idrogo Cruzado.

Autor

**Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo  
de Trujillo para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista.**

---

Ing. Jaime Odar Honorio Acosta

Presidente

---

Ing. Elmer Bolaños Grau

Secretario

---

Ing. Eduardo Azabache Vásquez.

Vocal

**DEDICATORIA**

*A mis Padres, Rosita y Wilmer. Por su apoyo incondicional y moral.*

*A mi abuela, Elena. Por su perseverancia y ejemplo de vida.*

*A mi Hermano, Jimmy. Por sus palabras de aliento y motivación.*

*A mis Amigos, Marck, Jerry, y Anthony. Por haberme brindado todo su apoyo,  
amistad.*

*A mis asesores de tesis, Jorge Inciso y Martín Sifuentes Por el apoyo brindado al  
haberme facilitado siempre información necesaria para cumplir con el desarrollo de  
este proyecto de tesis.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, a mi director de tesis el Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez, Asesor: Martín Teófilo Sifuentes Inostroza, a las personas que colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo, y especialmente a mis padres por todo su apoyo moral, alentador y por darme la oportunidad de poder estudiar.*



**DECLARACION DE AUTENTICIDAD**

Yo WILMER FRANCISCO, IDROGO CRUZADO. Con DNI N° 73682280, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ing. Mecánica Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Julio del 2016.

---

Wilmer Francisco, Idrogo Cruzado

## ÍNDICE

CARATULA.....	.....i
PÁGINA	DEL
JURADO.....	.....ii
DEDICATORIA .....	..... iii
AGRADECIMIENTO .....	..... iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	..... v
ÍNDICE.....	..... vi
RESUMEN.....	.....xiii
ABSTRACT .....	..... xv
I. INTRODUCCION.....	Pág.1
1.1. Realidad problemática.....	Pág.1
1.2. Trabajos previos.....	Pág.3
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	Pág.6
1.4. Formulación del problema.....	Pág.34
1.5. Justificación del estudio .....	Pág.34
1.6. Hipótesis.....	Pág.35
1.7. Objetivos.....	Pág.35

II. METODO.....	Pág. 37
2.1. Diseño de investigación.....	Pág.37
2.2. Variables, operacionalización.....	Pág.38
2.3. Población y muestra .....	Pág.40
<p>Estudio de un sistema de mantenimiento centrado vi Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”</p>	
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	Pág.40
2.5. Métodos de análisis de datos .....	Pág.40
2.6. Aspectos éticos.....	Pág.41
III. RESULTADOS.....	Pág.42
3.1. Evaluación de la situación actual o inicial de los motores asíncronos trifásicos de la planta de procesos térmicos de la empresa Cogorno S.A.....	Pág. 43
3.1.1. Número motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A .....	Pág.43
3.1.2. Número de rotores jaula ardilla y rotores de bobinado.....	Pág.44
3.1.3. Tiempo para reparar de los motores asíncronos trifásicos.....	Pág.45
3.1.4. Tiempo entre fallas o tiempo de	

operación útil de los motores asíncronos

trifásicos.....Pág.46

3.1.5. Cantidad de intervenciones de los motores asíncronos trifásicos.....Pág.47

3.1.6. Tiempo medio para reparar de los motores asíncronos trifásicos.....Pág.48

3.1.7. Tiempo medio entre fallas de los motores asíncronos trifásicos.....Pág.49

3.1.8. Tasas de fallas de los motores asíncronos trifásicos .....Pág.50

3.1.9. Tasa de reparación de fallas de los motores asíncronos trifásicos.....Pág.51

3.1.10. Tiempo total de los motores asíncronos trifásicos.....Pág.52

### 3.2. Determinación de los indicadores de mantenimiento en estado inicial o actual

De los motores asíncronos trifásicos.....Pág.53

3.2.1. Indicadores de mantenimiento por cada motor asíncrono trifásico.....Pág.53

3.2.2. Indicadores de mantenimiento globales de los motores asíncronos

Trifásicos.....Pág.56

### 3.3. Análisis de criticidad a los elementos de los motores eléctricos asíncronos

trifásico.....Pág.57

3.3.1. Determinación del tiempo para reparar y número de intervenciones por cada elemento, según el tipo de activo.....	Pág.57
3.3.2. Determinación de los costos en pérdidas de producción por cada elemento de los motores eléctricos.....	Pág.70
3.3.3. Determinación de los costos en repuestos por cada elemento de los motores eléctricos.....	Pág.75
3.3.4. Determinación de los costos de mano de obra por cada elemento de los motores eléctricos.....	Pág.76
3.3.5. Determinación de los costos de mantenimiento por cada elemento de los motores eléctricos.....	Pág.77
3.3.6. Establecer el tiempo promedio entre fallas por cada elemento de los Motores asíncronos trifásicos .....	Pág.78
3.3.7. Determinación de la ponderación de frecuencia de fallas.....	Pág.83
3.3.8. Determinación de la ponderación de los costos de producción.....	Pág.84
3.3.9. Determinación de la ponderación de los costos de mantenimiento.....	Pág.86

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco

3.3.10. Determinación de las ponderaciones respecto al personal de mantenimiento, población e impacto ambiental.....	Pág.88
3.4. Desarrollo de los AMEF (Análisis Modos y Efectos de fallo) en los sistemas activos críticos y semicriticos de los motores asíncronos trifásicos para el diseño de un plan RCM.....	Pág.91
3.4.1. Hojas de información de los elementos de los motores eléctricos.....	Pág.91
3.4.2. Hojas de decisiones para los elementos de los motores eléctricos.....	Pág.96
3.4.3. Determinación del número de prioridad de riesgos.....	Pág.100
3.5. Elaboración de un programa de actividades para el mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a elementos críticos y semicriticos.....	Pág.102
3.6. Determinación la reducción de los costos de producción y mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos con la aplicación del plan RCM.....	Pág.103
3.7. Estimación de los indicadores de mantenimiento en condiciones de mejora.....	Pág.105

IV. DISCUSIÓN.....Pág.  
108

V. CONCLUSIÓN.....Pág  
.110

VI. RECOMENDACIONES.....Pág.  
112

IV.

REFERENCIAS.....Pág.11

3

ANEXOS:

.....Pág.115

A.1. Matriz de consistencia.....Pág.115

A.2. Formato de fichas de registro.....Pág.117

A.3. Fichas de registro de los 16 motores asíncronos trifásicos de la empresa

Cogorno S.A, en el periodo 2015, durante el intervalo de tiempo

(01/01/2015 -31/12/2015)

.....Pág.118

A.4. Costos unitarios de pérdidas de producción de las áreas de la planta de

procesos térmicos – Cogorno S.A

.....Pág.140

A.5. Reportes de costos de repuestos de los motores asíncronos

trifásicos.....Pág.141 A.6... Trazabilidad del plan de mantenimiento centrado en la

confiabilidad a los motores trifásicos Asíncronos de la Empresa Cogorno S.A. –

Trujillo.....Pág.142

A.7. Cuestionario dirigido a los técnicos: .....Pág.144

A. 8. Cuestionario dirigido al área administrativa.  
.....Pág.147

A.9. Ficha de resultados  
.....Pág.144

A.10. Hoja de validación de datos – Supervisión de mantenimiento de la empresa

Cogorno S.A.C.  
.....Pág.152

A.11. Hoja de validación de datos –Departamento de Logística de la empresa

Cogorno S.A.C.....  
.....Pág.153

A.12. Hoja de validación de Resultados de la tesis: “Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”.....Pág.154

A.13. Hoja de validación de Resultados de la tesis: “Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”.....Pág.155

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco



## RESUMEN

El presente estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, aplicado a motores eléctricos asíncronos trifásicos de la planta de procesos de la empresa Cogorno S.A Trujillo, tiene como finalidad aumentar la disponibilidad.

La empresa Cogorno S.A, tiene hasta la actualidad 185 motores asíncronos trifásicos, de los cuales 136 motores tienen rotor jaula ardilla y los restantes 49 motores tienen rotor de bobinado. En la planta de procesos térmicos los motores accionan 11 tipos de activos como: ventiladores de fideos, elevadores de cangilones, fajas transportadoras, tornillos compresores, carritos enfardelados, tornillos de prensa, bombas hidrométricas, compresores frigoríficos, bombas de vacío, molinito de martillos y reductores de velocidad.

En la evaluación del estado inicial del mantenimiento a los motores eléctricos asíncronos trifásicos, se encontró que el periodo 2015, se perdieron en total 8715 horas en plena producción y que los indicadores de mantenimiento de los motores eléctricos dependiendo de los tipos de activos que accionan, como la disponibilidad está en el intervalo de 85% a 96.01%, la confiabilidad de 80% a 93.63% y la mantenibilidad de 4.34% a 22.93%. Pero los indicadores en forma global de todos los motores eléctricos resultaron; disponibilidad 90.45%, confiabilidad 90.48% y la mantenibilidad 7.19%.

Como todos los motores eléctricos, tienen las mismas características de diseño, se procedió a evaluar los elementos en fallas, tales como: Estator, ventilador, rotor, rodamiento, eje de transmisión y fuente de alimentación; dichos elementos fueron sometidos a un análisis de criticidad sustentado en 6 criterios o impactos como: frecuencia de fallas, costos de producción, costos de mantenimiento, personal de mantenimiento, población y ambiente. La evaluación tuvo como único elemento crítico al rotor, y como semicríticos al estator y rodamientos, mientras el ventilador, eje y fuente de alimentación se clasificaron como no críticos.

a vez determinado el nivel de criticidad de los elementos, se procedió a desarrollar las AMEF (Hojas de información y hojas de decisiones), para luego a través del número de prioridad de riesgo concluir que el 69% de las fallas ocurridas son de tipo indeseable, 23% reducibles a deseables y 8% aceptables.

La implementación del MBR, logro aumentar los indicadores de mantenimiento, la disponibilidad en el intervalo de 95.35% a 98.76% y confiabilidad de 93.75% a 98.14%, permitiendo mantener constante la mantenibilidad de 4.34% a 22.93%. Estos incrementos de los activos independientes, permite obtener los indicadores de mantenimiento en forma general en estado de mejora, obteniendo una disponibilidad del 97.04%, confiabilidad 97.31% y mantenibilidad constante de 7.19%.

Se establecieron los costos generales (costos de producción y costos de mantenimientos) en estado actual, obteniendo 999727.14 S. /año, mientras que en estado de mejora los costos generales se redujeron a 466221.96 S. /año, obteniendo un beneficio neto de 533505.18 S. /año.

Palabras clave: motores asíncronos, mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad.

## ABSTRACT

This study of a system centered maintenance RCM reliability, applied to three-phase asynchronous electric motors plant business processes Cogorno S.A Trujillo, it aims to increase availability.

Cogorno S.A. company, has until now three-phase asynchronous motors 185, 136 of which motors have squirrel cage rotor 49 and the remaining motors have rotor winding. On the ground thermal processes the motors drive 11 types of assets such as fans noodles, bucket elevators, conveyors, screw compressors, enfardelados carts, screw press, hydrometric pumps, refrigeration compressors, vacuum pumps, Molinito hammer and speed reducers.

In assessing the initial state of maintenance asynchronous electric motors three-phase, it was found that the period 2015 were lost in total 8715 hours full production and maintenance indicators of electric motors depending on the types of assets that drive, the availability is in the range of 85% to 96.01%, the reliability of 80% to 93.63% and 4.34% maintainability to 22.93%. But globally indicators of all electric motors were; 90.45% availability, reliability and maintainability 90.48% 7.19%.

Like all electric motors, have the same design features, we proceeded to assessing the data on failures, such as: Stator, fan, rotor, bearing, shaft and power supply; these elements were subjected to a criticality analysis supported by 6 criteria or impact such as: failure rate, production costs, maintenance costs, maintenance personnel, population and

environment. The evaluation was only critical to the rotor element, and as semi-critical stator and bearings, while the fan shaft and power supply were classified as non-critical.

After determining the level of criticality of the elements, we proceeded to develop the FMEA (sheets and sheets decisions), then through the number of risk priority conclude that 69% of faults occurring are undesirable type 23% reducible to 8% desirable and acceptable.

The implementation of the MBR, achievement indicators increased maintenance, availability in the range of 95.35% to 98.76% and 93.75% reliability to 98.14%, thereby maintaining constant the maintainability of 4.34% to 22.93%. These increases of independent assets, allows for maintenance indicators generally in a state of improvement, obtaining an availability of 97.04%, 97.31% reliability and maintainability constant 7.19%.

Overall costs (production costs and maintenance costs) in current state is established, obtaining 999727.14 S. / year, while in a state of improvement overall costs were reduced to 466221.96 S. / year, earning a net profit of S 533505.18 S. /year.

Keywords: asynchronous motors, maintenance, availability, reliability.

## I. INTRODUCCIÓN:

### 1.1. Realidad problemática:

La empresa Cogorno S.A está ubicada en el Distrito de Salaverry, Provincia de Trujillo en el km 14 al sur. Carretera autopista Salaverry km 2 5. Fue fundada en 1928 hace 88 años por los esposos Don Eugenio Cogorno y Doña Clara Cogorno. Consta con 4 plantas de procesos en el Perú, están ubicadas en el Callao, La Perla, Ventanilla y Salaverry en Trujillo, produciendo: pastas (Propia: Cogorno clásico, don camilo, don paolo, del hogar, D´primera. Terceros: compass, marco polo, beltrán, clarissa, lenysil, del cielo); harinas (Propia: harina especial cogorno, especial paneton cogorno, especial AB cogorno, cogorno especial, terceros: don paolo, cogorno extra, subproducto trigo, popular) y alimento balanceado (Marca Cogorno: aves de corral, bbmycin 20 kg, bb-mycin 40 kg, conejos, cuyes, gallos de pelea, mangimi c-1 especial, mangimi g especial, a. balanceado) para el consumo de animales a nivel nacional y externo,(<http://www.cogorno.com.pe/>).

La empresa cogorno está en una constante modernización de sus instalaciones, maquinarias y tecnología; tanto en los molinos y fábricas de fideos de Lima y Trujillo, que en los últimos tres años superan los \$ 15 000 000 de dólares, ello en el marco de un plan de desarrollo denominado “Rumbo al Centenario”. Cogorno ostenta una participación de mercado cercana al 10% con sus marcas “Cogorno”, “Don Paolo” y “Don Camilo”, (<http://www.cogorno.com.pe/>).

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. Un

aspecto clave de la metodología RCM es reconocer que el mantenimiento asegure que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional.

En la actualidad la Empresa Cogorno, en su planta de procesos térmicos cuenta con 185 motores asíncronos trifásicos (49 de rotor bobinado y 136 de rotor jaula ardilla), los cuales accionan 11 máquinas o activos en común, como: ventiladores de fideos, elevadores de cangilones, fajas transportadoras, tornillos compresores, carritos enfardelados, tornillos de prensa, bombas hidrométricas, compresores frigoríficos, bombas de vacío, molinito de martillos y reductores de velocidad.

El área de mantenimiento de la empresa, cuenta con mantenimientos: correctivo y preventivo para dar solución a las diferentes fallas de los motores eléctricos, no logrando obtener buenos resultados debido al incremento de fallas. En el periodo 2015, se registraron 1582 intervenciones correctivas en todos los motores asíncronos trifásicos instalados en la planta de procesos, ocasionando un total de 8715 horas perdidas por fallas inesperadas en plena producción.

La empresa en el periodo 2015, tuvo una pérdida económica en producción debido a las horas perdidas de 741684.04 S. /año y en costos de mantenimiento 258043.10 S. /año, generando un total de 999727.14 S. /año.

Por lo consecuente, se plantea la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, como la mejor alternativa de organización del mantenimiento preventivo y correctivo de los motores asíncronos trifásicos a través de la metodología AMEF (análisis de modos y efectos de fallas), permitiendo reducir los costos de producción, costos de mantenimiento, disminuir las paradas no planeadas, incrementar la vida útil de los motores y logrando incrementar la disponibilidad.

## 1.2. Trabajos previos

▪ **Vásquez (2008)**, en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Austral De Chile (Valdivia - Chile), titulada: “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina”. Explica que los motores se dividieron en subsistemas para un mayor detalle en la descripción de la función, en la falla funcional, en el modo de falla y en la consecuencia de la falla.

Concluyendo, que el análisis RCM se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos. Lo fundamental es preparar una persona experta o facilitador en RCM y alimentarlo con el personal técnico, que tiene los conocimientos de los activos, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, etc. Debido a que los procedimientos de mantención de un equipo establecidos, generalmente son efectivos hasta cierto punto, ya que no todos los equipos operan bajo los mismos parámetros de funcionamiento, o bajo el mismo contexto operacional, realizar un análisis RCM a un equipo nuevo o que lleve tiempo operando es de gran ayuda para el personal de mantención, porque se pueden tomar decisiones más rápidas y más asertivas en cuanto a las posibles fallas y su respectiva tarea proactiva a realizar.

Al realizar este análisis se generó una base de datos con información actual y detallada de todas las fallas que han sucedido y que posiblemente sucedan al equipo. Cabe destacar que la idea de un análisis RCM es su retroalimentación; o sea no basta con quedarse con el análisis en sí, a medida que vayan sucediendo fallas no consideradas, éstas deben ser incluidas en el análisis junto con su tarea proactiva asociada.

- **Aguilar & Camacho (2008)**, en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Cesar Vallejo (Trujillo - Perú), titulada: “Influencia del diseño e implementación de un plan mantenimiento centrado en la confiabilidad en la reducción, control de fallas y optimización de costos en el área de elaboración de azúcar en el complejo agroindustrial Cartavio S.A.A.” Expone en su Tesis: La empresa Complejo Agroindustrial Cartavio, dispone de varios sectores en su proceso productivo de azúcar, de los cuales se aprecia por seguimientos hechos a cada sector, que el más crítico es el proceso de elaboración de azúcar. Para lo cual toman la decisión de implantar el RCM la cual maximizará confiabilidad, disponibilidad y minimizará el costo del ciclo de vida de sus equipos.

Concluyendo, que se estima que el ahorro en costos de mantenimiento, si se realiza una aplicación estructurada de la metodología del RCM, será de un 35%, con una reducción de 45% a 20% de los mantenimientos correctivos.

- **Caltenco (2008)**, en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Electricista. Realizada en el Instituto Politécnico Nacional (México, D.F. - México), titulada: “Criterios de ingeniería aplicables en la selección optima de motores trifásicos de inducción tipo jaula ardilla”, concluye que el motor eléctrico trifásico de inducción o asíncrono, debe ser correctamente seleccionado de acuerdo a las características de la carga que impulsará, y de las características generales de operación. Explicando que la temperatura de elevación también es otro factor que influye directamente en la vida útil del motor eléctrico, por lo que se deben evitar las sobrecargas que se traducen en calor y degradación de los aislamientos que afectan a las partes mecánicas.



Finalmente, la selección adecuada de un motor eléctrico de inducción, contribuirá a economizar los costos de mantenimiento del motor y asegurar la continuidad en la producción de la empresa, es decir los costos por una correcta selección son inferiores a los costos por mala selección de un motor.

Los costos por reparación de un motor deben estar por debajo del 50% del costo del motor nuevo. De lo contrario es preferible adquirir uno nuevo, que asegure igualdad de características.

- **Lugo, Mendoza y Rales (2001)**, en su tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico Electricista. Realizada en la Universidad Veracruzana (Xalapa - México), titulada “Administración del mantenimiento preventivo a motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico Distrito Poza Rica, para incrementar la producción”, se pretende contar con un programa de mantenimiento preventivo cuyos costos sean menores comparados con los correspondientes a los mantenimientos correctivos que se han venido utilizando hasta la fecha. La aplicación de este proyecto beneficia sin duda a petróleos mexicanos, al mejorar la eficiencia de los motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla de las unidades de bombeo mecánico, permitiendo reducir el número de paros por fallas de dicho motor, logrando así incrementar la producción de los pozos petroleros, pudiendo tener aplicaciones en otros campos productores en donde se tenga operando un sistema artificial de este tipo.

Concluyendo que el sistema de bombeo mecánico es el más apropiado para la explotación de un campo petrolero que se encuentre en su última etapa de producción, como es el caso del campo Poza Rica. Además, el sistema de bombeo neumático con el que se venía produciendo ya no es adecuado para la mayor parte del activo Pozo Rica, se debe al incrementando de los asentamientos, que en muchas ocasiones se lleva acabo sobre líneas de gas de bombeo neumático de alta presión. El sistema de bombeo mecánico tiene además las ventajas de ser el más económico, eficiente, no

contaminante y sencillo de operar. También se llegaron a conocer las partes esenciales de las unidades de bombeo mecánico convencional, mark II, Aero balanceadas y algunas ventajas que tienen de unidad a otra.

La programación de actividades de mantenimiento preventivo, puede estar sujeta a cambios, dependiendo de los resultados obtenidos año con año, en base a la observación del logro de las metas prefijadas por anomalía. Por ejemplo, si se observa

que en el primer año de aplicación de éste programa no disminuyó en un 80% las fallas en los motores eléctricos, entonces en el siguiente año se programa el mantenimiento preventivo de este equipo aumentando la frecuencia en el año, es decir, si el programa indicaba una intervención cada tres meses y con esta frecuencia sólo se logró reducir las fallas de bandas en un 60%, entonces se aumenta la frecuencia seis veces al año, y al final del mismo se observan las mejoras comparándolas con el año anterior, lo que nos dará la pauta para optimizar aún más nuestra programación.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema**

#### **▪ Motor eléctrico:**

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes, (Francisco, Cánovas & Molina, 2011).

Atendiendo al tipo de corriente utilizada para su alimentación, La National Electrical Manufacturers Association NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) se clasifican en:

#### **✓ Motores de corriente continua:**

- De excitación independiente.
- De excitación serie.
- De excitación (shunt) o derivación.
- De excitación compuesta (compund).

✓ **Motores de corriente alterna:**

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos:
  - Monofásicos.   ○ De bobinado auxiliar.
  - De espira en cortocircuito.   ○ Universal.   ▪
  - Trifásicos.   ○ De rotor bobinado.
  - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

Todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas.

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización y bajo coste de fabricación.

Para el estudio de la presente tesis nos centraremos en la constitución, el funcionamiento y la puesta en marcha de los motores asíncronos trifásicos.

▪ **Constitución del motor asíncrono o inducción:**

Como todas las máquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estátor) y otro en la parte móvil (rotor), según se muestra en la figura 01.

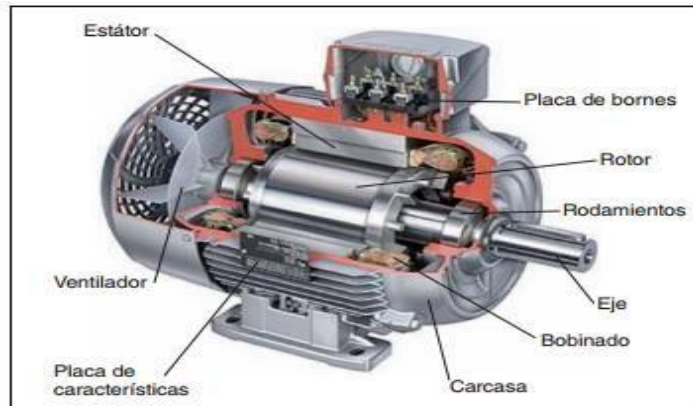


Figura 01: Sección de motor eléctrico.

Fuente: Francisco, Cánovas & Molina, 2011.

El circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estátor, ver figura 02.



Figura 02: Estátor y rotor de motor eléctrico.

Fuente: Francisco, Cánovas & Molina, 2011.

El cilindro se introduce en el interior del anillo y, para que pueda girar libremente, hay que dotarlo de un entrehierro constante. El anillo se dota de ranuras en su parte interior para colocar el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte llamada carcasa. El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido (motores de rotor bobinado) o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del

mismo material en los extremos del cilindro (motores de rotor en cortocircuito) similar a una jaula de ardilla, de ahí que reciban el nombre de rotor de jaula de ardilla. El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir el movimiento, y lleva acoplado un ventilador para refrigeración. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes, (Francisco, Cánovas & Molina, 2011).

#### ✓ Rotor de bobinado

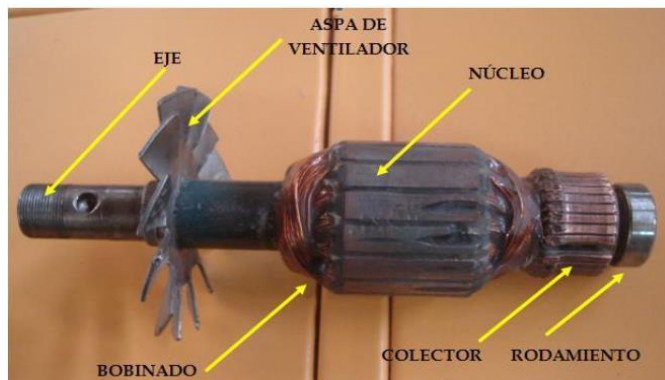


Figura 03: Partes principales del rotor de bobinado Fuente: Francisco, Cánovas & Molina, 2011.

#### ✓ Rotor en corto circuito (Jaula ardilla)

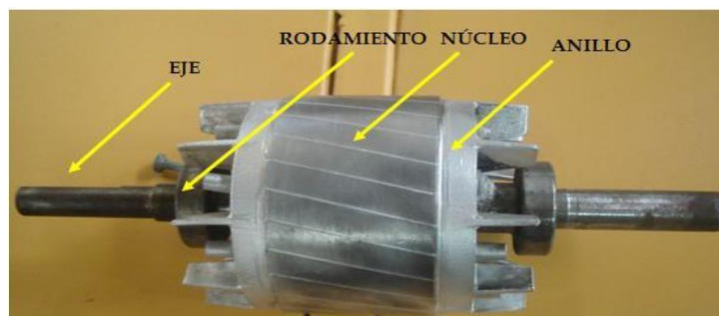


Figura 04: Partes principales del rotor de bobinado Fuente: Francisco, Cánovas & Molina, 2011.

▪ **Principio de funcionamiento:**

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estatístico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estatístico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz).

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

Como se explica la velocidad de estos motores, según el principio de funcionamiento y la frecuencia industrial, tiene que ser una velocidad fija, algo menor que la de sincronismo. Gracias a los avances en la electrónica de potencia, actualmente se fabrican arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de estos motores actuando sobre la frecuencia de la alimentación del motor, es decir, convierten la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor. De ahí que reciban el nombre de convertidores de frecuencia, pudiendo regular la velocidad, amortiguar el arranque e incluso frenarlo, (Francisco, Cánovas & Molina, 2011).

## ▪ Teorías del mantenimiento:

### ✓ **Mantenimiento:**

De manera general podemos decir que la función concreta de mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que pueda cumplir su función y así producir bienes o servicios, estos aparatos no son más que los objetos que genera la ingeniería en sus diferentes ramos y según la necesidad.

Según la Real Academia Española, se define Mantenimiento como “el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente” (Ávila, 1992).

Existen diferentes tipos de mantenimiento que se aplican a nivel industrial. Es difícil establecer o reconocer el límite de cada tipo dado que, a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma, la metodología es la que varía. Los diferentes tipos de mantenimiento no son opuestos entre ellos sino que se complementan para lograr un mantenimiento óptimo.

Los tres grandes grupos de tipos de mantenimiento son: los que se aplican una vez aparecida la avería (correctivo), los que tratan de prevenirla o predecirla antes de su aparición (preventivo y predictivo).

A continuación, se pasará a explicar solo los tipos de mantenimientos que se aplicaran a este desarrollo de tesis.

### **a) Mantenimiento Correctivo:**

El mantenimiento correctivo consiste en un método que procura reparar las averías a medida que se van produciendo. Es la primera reacción que se da cuando ocurre una avería, la cual muchas veces ocasiona la modificación o paralización de la línea de

producción. La persona encargada de avisar las averías es el propio operario de la maquinaria y el encargado de las reparaciones el personal de mantenimiento.

El mantenimiento correctivo se subdivide en:

▪ **Mantenimiento correctivo programado:**

Consiste en realizar las reparaciones sólo cuando se cuenta con todos los elementos indicados (personal, herramientas, información) y de tal forma que la interrupción del proceso productivo no tenga graves consecuencias. (Ávila, 1992)

▪ **Mantenimiento correctivo no programado:**

Consiste en realizar las reparaciones de forma inmediata de ocurrida la falla, ello debido a la criticidad que presenta la máquina en relación al proceso productivo, ya que si es muy crítica será necesario reparar dicha máquina al instante, mientras que si presenta una baja criticidad se puede esperar a repararla cuando se cuente con todos los elementos necesarios (programado). (Ávila, 1992)

El principal inconveniente con este tipo de mantenimiento es que el operario detecta la avería en el momento en que necesita el equipo, ya sea al ponerlo en funcionamiento o durante el uso respectivo. Generalmente, con el fin de obtener un mayor rendimiento del equipo, el usuario no avisará sobre la avería y la recargará de trabajo hasta que ésta pare y no pueda continuar trabajando. Llevar el equipo al límite de su funcionamiento puede agravar la avería inicial y convertirse en otro de mayor importancia.

Dado que la avería puede producirse en cualquier instante, se puede dar la situación de que no haya personal disponible para afrontar el problema en ese momento, en consecuencia, el tiempo de no disponibilidad del equipo se incrementará. En caso



contrario, el tener personal suficiente para afrontar cualquier avería imprevista significa un aumento considerable en los costos de mantenimiento lo cual no es bien visto por el gerente general de la empresa.

Cabe resaltar que si se opta por una política de mantenimiento correctivo la empresa estará obligada a tener un grupo numeroso de especialistas de reparaciones de cada máquina y un almacén de repuestos lo más completo posible. Si los equipos se utilizan hasta el límite de sus posibilidades, las reparaciones serán más costosas y de mayor duración antes de poner la máquina en funcionamiento.

#### **b) Mantenimiento Preventivo:**

El mantenimiento preventivo se define como una serie de tareas programadas previamente que se llevan a cabo para contrarrestar o minimizar las causas de las fallas potenciales y más frecuentes de las máquinas. Puede planearse y programarse con base en el tiempo, la condición y el uso del equipo. (Ávila, 1992).

El mantenimiento preventivo es el enfoque preferido frente al mantenimiento correctivo por cuatro razones principales:

- La frecuencia de fallas prematuras puede reducirse mediante una adecuada lubricación, ajustes, limpieza e inspecciones promovidas por la medición del desempeño.
- Si la falla no puede prevenirse, la inspección y la medición periódica pueden ayudar a reducir la severidad de la falla y las posibles consecuencias en otros componentes del sistema del equipo, disminuyendo de esta forma las consecuencias negativas para la seguridad, el ambiente o la capacidad de producción.

- En donde se pueda observar la disminución gradual de una función o alteración de un parámetro, como la calidad de un producto o la vibración de una máquina, puede manifestarse y detectarse el aviso de una falla inminente.
  
- Finalmente, hay importantes diferencias en costos tanto directos (por ejemplo, materiales) como indirectos (por ejemplo, pérdidas de producción) debido a que una interrupción no planeada a menudo provoca un gran daño a los programas de producción y a la producción misma, y debido también a que el costo real de un mantenimiento de emergencia es mayor que uno planeado y a que la calidad de la reparación puede verse afectada de manera negativa bajo la presión de una emergencia.

Una vez revisada las ventajas frente al mantenimiento correctivo, surge la siguiente pregunta: ¿Qué tarea o serie de tareas deben realizarse para impedir una falla? Obviamente, si entendemos el mecanismo de la falla real del equipo, podemos decidir qué tareas son lógicas para impedir la falla y cuáles no son pertinentes. Se dan las siguientes alternativas generales:

- Si el mecanismo dominante de falla se basa en el tiempo, es decir, si la probabilidad de la falla aumenta gradualmente con el tiempo, la edad o el uso, entonces las tareas de mantenimiento tienen que basarse en el tiempo. Si, por otra parte, la probabilidad de una falla es constante e independientemente del tiempo, la edad o el uso, y existe una degradación gradual desde el principio de la falla, entonces las tareas de mantenimiento pueden basarse en las condiciones de operación. Esta tarea podría variar en complejidad desde una reparación general completa de toda la maquinaria hasta el simple reemplazo de una pieza.

- Las tareas basadas en las condiciones, las cuales son justificadas cuando se desconoce el enfoque de prevención de fallas, se centran en la medición de un parámetro que indique el deterioro o degradación en el rendimiento del equipo. Las mediciones y las inspecciones mismas pueden programarse regularmente, pero no las tareas de restauración o preventivas. Estas mediciones pueden relacionarse directamente con la operación de la máquina y manifestaciones tales como la vibración, la temperatura durante el funcionamiento, el amperaje requerido, los contaminantes en el aceite de lubricación o el nivel del ruido, o pueden ser una medida sustituida de la operación de la máquina, como la calidad del producto, sus dimensiones, patrones de desgaste o composición.
- El mantenimiento basado en el tiempo, como la reparación general, es técnicamente factible si las piezas tienen un tiempo de vida promedio identificable o establecida. La mayoría de las piezas sobrepasan dicha edad y el mantenimiento restablece la pieza a su función deseada con algunas restricciones.
- El mantenimiento basado en las condiciones es técnicamente factible si es posible detectar condiciones o un funcionamiento degradado, si existe un intervalo de inspección práctico y si el intervalo de tiempo (desde la inspección hasta la falla) es suficientemente grande para permitir acciones correctivas o reparaciones.
- Debido a la existencia de equipos complejos, lo cual supone que sus componentes tendrán varias causas posibles de falla, es necesario desarrollar una serie de acciones de mantenimiento preventivo algunas basadas en las condiciones y otras basadas en el tiempo para el mismo equipo, y consolidar estas en un programa de mantenimiento preventivo. El programa tendrá tareas agrupadas por periodicidad (Es decir, diaria, semanal o anualmente, por horas de operación, por ciclos, etc.) y agrupadas por oficio

(es decir, mecánico, electricista, operador, técnico, etc.) El mantenimiento preventivo es el principal requisito para reducir la frecuencia y severidad de las averías de las máquinas. Se utilizan tres amplias medidas para vigilar que el programa de mantenimiento preventivo sea completo:

Cobertura del mantenimiento preventivo, el porcentaje de cantidad de equipo crítico para el cual se han desarrollado programas de mantenimiento preventivo.

Cumplimiento del mantenimiento preventivo, el porcentaje de rutinas del mantenimiento preventivo que han sido completadas de acuerdo con su programa.

Trabajo generado por las rutinas del mantenimiento preventivo, el número de acciones de mantenimiento preventivo que han sido solicitadas y tienen como origen rutinas del mantenimiento preventivo.

### **c) Mantenimiento predictivo:**

Consiste en predecir las averías que pudiesen surgir. Esto se puede conseguir insertando en una maquinaria diversos sensores que proporcionen datos, como ruidos, vibraciones, temperaturas, etc. Con su posterior análisis se puede determinar si esos parámetros son correctos y están dentro de un rango de normalidad, o por lo contrario se encuentran fuera de control, lo que implicaría una intervención del mantenimiento preventivo para solucionar el problema antes que se produzca la avería, (Garrido, 2012). Este tipo de mantenimiento también se puede realizar de forma periódica, mediante los siguientes análisis:

- **Análisis de vibraciones:** Es la técnica más ampliamente utilizada para conocer el estado de la maquinaria. Puede llegar a detectar el 80% de los problemas o fallos que pueden presentarse en las máquinas.

**▪ Análisis de aceite:**

Otra de las técnicas ampliamente utilizadas en la industria es el análisis de las muestras de aceite recogidas de los sistemas de lubricación y engrase de la maquinaria. Pueden indicar desgastes, fallos por corrosión en las pistas de los rodamientos lubricados o, simplemente, un alto grado de degradación de los fluidos lubricantes.

**• Análisis de Termografía:**

Consiste en la toma de imágenes termográficas mediante el empleo de cámaras especiales que convierten la intensidad de la radiación en la zona infrarroja en imágenes visibles.

**▪ Indicadores del mantenimiento:**

Para una buena gestión del mantenimiento se debe medir la actividad por medio de herramientas adecuadas. Como los resultados son más difíciles de evaluar en el campo del mantenimiento que en la producción, será necesario utilizar los índices y de los múltiples índices usados en la gestión de mantenimiento se empleará sólo aquellos índices estándares que son calculados con la misma fórmula en todos los países, es decir, los denominados “Índices de Clase Mundial” (Kececioglu, 1995).

**✓ Tiempo medio entre fallas TMEF:**

Es la sumatoria de todos los tiempos entre fallas (TEF), entre el número total de fallas.

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF}{n} \quad \dots \dots \dots (01)$$

Dónde:

- TMEF: Tiempo medio entre fallas [horas de operación/falla]. ○ TEF:  
Tiempo entre fallas [horas de operación/año].
- n: número de fallas [fallas/año]

✓ **Tiempo medio para reparar TMPR:**

Es la sumatoria de todos los tiempos para reparar (TPR) cada falla, entre el número de fallas.

$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR}{n} \quad \dots \dots \dots (02)$$

Dónde:

- TMPR: Tiempo promedio para reparar [horas de reparación/falla].
- TPR: Tiempo para reparar [horas de reparación/año].
- n: Número de fallas [fallas/año].

En la figura 05. Se detalla el tiempo entre fallas y el tiempo para reparar, durante un periodo total programado para producir.

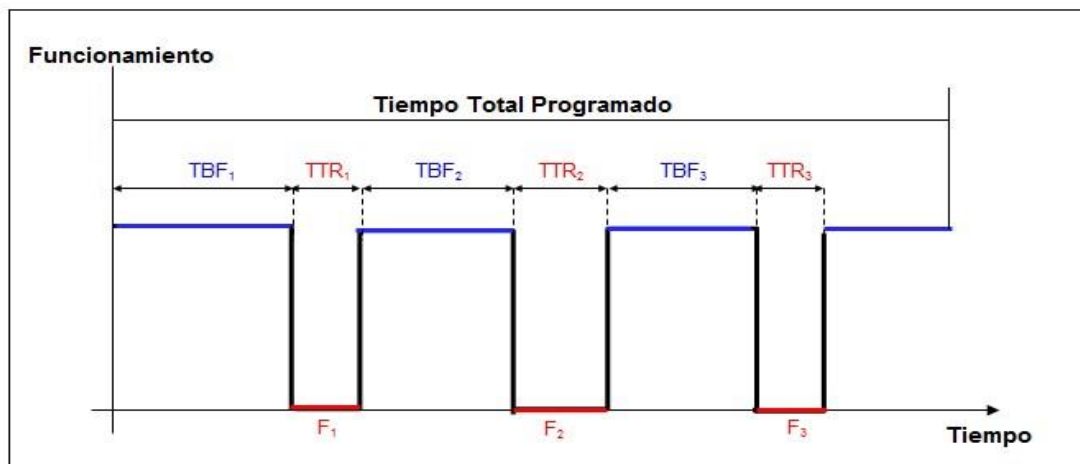


Figura 05. Tiempos del mantenimiento.

Fuente: <http://www.tuveras.com/>

Dónde:

- TEF = Tiempo entre fallas [horas de operación/año]. ○ TPR = Tiempo para reparar [horas de reparación/año].
- n = Número de fallas [fallas/año].

**✓ Disponibilidad:**

Es el objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un equipo u/o máquina que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir. (Zambrano, 2006)

Matemáticamente la disponibilidad  $D(t)$ , se puede definir:

$$D(t) = \left( \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (03)$$

Dónde:

- $D(t)$ : Disponibilidad [%] ○ TMEF: Tiempo medio entre fallas [horas de operación/falla].
- TMPR: Tiempo promedio para reparar [horas de reparación/falla].

**✓ Confiabilidad:**

La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un equipo u/o máquina desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un equipo u/o máquina pueda desempeñar su

función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas. (Zambrano, 2006)

La confiabilidad puede ser expresada a través de la expresión:

$$C(t) = \left( e^{\frac{-\lambda * t}{100 * N^{\circ} M.E}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (04)$$

Dónde:

- R(t): Confiabilidad [%]
- t: Tiempo total de estudio [horas totales/año].
- $\lambda$ : Tasa de fallas (número total de fallas con relación al tiempo promedio entre fallas del equipo)  $\left[ \frac{\text{Fallas}}{\text{horas de operación}} \right]$
- N°M.E: Número de motores eléctricos

Y se expresa:

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad \dots \dots \dots (05)$$

Dónde:

- TMEF: Tiempo medio entre fallas [horas de operación/falla].

### ✓ **Mantenibilidad:**

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo u/o máquina pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos.



También se define la mantenibilidad como “la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseados, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos”. O simplemente “la probabilidad de que un equipo que presenta una falla sea reparado en un determinado tiempo. (Zambrano, 2006) La mantenibilidad puede ser expresada a través de la expresión:

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu * t}{100 * 12 * N^{\circ} M.E}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (06)$$

Dónde: ○ M(t):

Mantenibilidad [%] ○ t:

Tiempo total de estudio

[horas totales/año].

- $\mu$ : Tasa de reparaciones (número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo)  $\left[ \frac{\text{fallas}}{\text{horas de reparación}} \right]$ .
- N°M.E: Número de motores eléctricos

Y se expresa:

$$\mu = \frac{1}{\text{TMPR}} \quad \dots \dots \dots (07)$$

Dónde:

- TMPR: Tiempo promedio para reparar [horas de reparación/falla].

#### ▪ RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad):

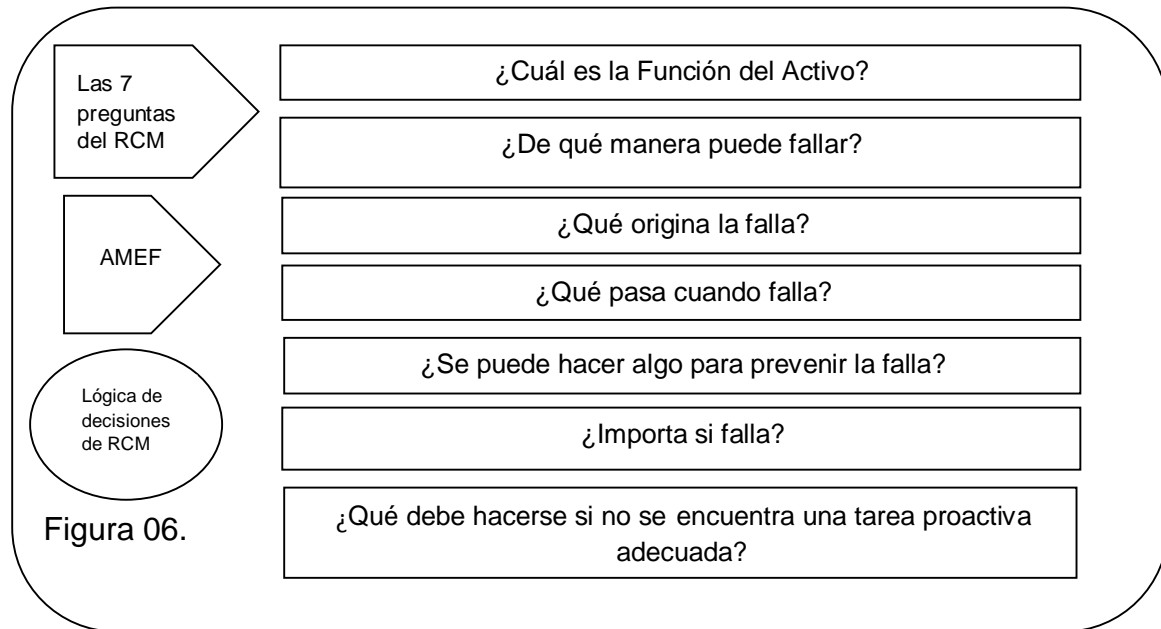
A partir del concepto de anticiparse al futuro, se han creado nuevas disciplinas del mantenimiento que recientemente buscan protocolizarse y normalizarse dentro de un esquema denominado Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centred

Maintenance) o simplemente RCM. El RCM es un conjunto de procedimientos sistemáticos para:

- Prever futuros indeseables en la funcionalidad de los procesos productivos (fallas funcionales).
- Determinar las consecuencias y el impacto de las fallas.
- Conducir a la determinación y programación de tareas predictivas (detección oportuna de fallas potenciales) y proactivas (acciones antes de la falla) (Moubray, 2004).

✓ **Metodología para la implementación del RCM según las normas SAE JA 1011, SAE JA 1012:**

La metodología RCM, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas (Moubray, 2004)



Preguntas básicas del RCM.

### ✓ Función del RCM

Las funciones principales del RCM son los siguientes:

- Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales, las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto, y consecuencias importantes respecto a criterios como disponibilidad, seguridad, confiabilidad y calidad, (Horacio y Pereira, 1995).
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán prevenir, eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial y precisar que cada modo de fallo dispone de los medios de detección previstos (detectores, ensayos o inspecciones periódicas).
- Analizar la confiabilidad del sistema.

- Documentar el proceso y evidenciar los fallos de modo común.

Al conocer las funciones del RCM, durante su aplicación, los usuarios se pueden enfocar hacia el logro de estos, sin que haya desviaciones, de este modo concluir el análisis de una manera exitosa. (Horacio y Pereira, 1995).

#### ✓ **Herramientas para la aplicación del RCM:**

El AMEF (análisis de modo de fallas y efectos de fallos) y el árbol lógico de decisión, constituyen las herramientas fundamentales que utiliza el RCM que responderán las siete preguntas básicas: (Moubray, 2004).

Herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.

#### ✓ **Desarrollo de la AMEF:**

Criterios del AMEF

Previamente a la realización del AMEF, elaboramos los criterios de análisis para la obtención del Número de Prioridad de Riesgo; Considerando:

Tabla: 02. Gravedad

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Jhon Moubray, 2004

Tabla: 03. Ocurrencia.

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Jhon Moubray, 2004

Tabla: 04. Detección

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Jhon Moubray, 2004  
Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación de tres índices de probabilidad, los cuales son la

Gravedad o Severidad, el nivel de Ocurrencia y por la facilidad de Detección. En NPR determina la condición existente de cada falla a través su puntuación para clasificar las fallas en: aceptables - reducibles a deseables – indeseables.

Se determina según la ecuación:

$$NPR = G * O * D \quad \dots\dots\dots (08)$$

Clasificación de las fallas según el NPR:

Tabla 05. Puntaje y clasificación de las fallas

$NPR \leq 125$	Falla Aceptable.
$125 < NPR \leq 200$	Falla reducible a deseable.
$NPR > 200$	Falla Indeseable.

Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Jhon Moubray, 2004

Desarrollo del diagrama de decisiones: Se elabora el árbol lógico de decisiones para el mantenimiento centrado en la confiabilidad en base al AMEF

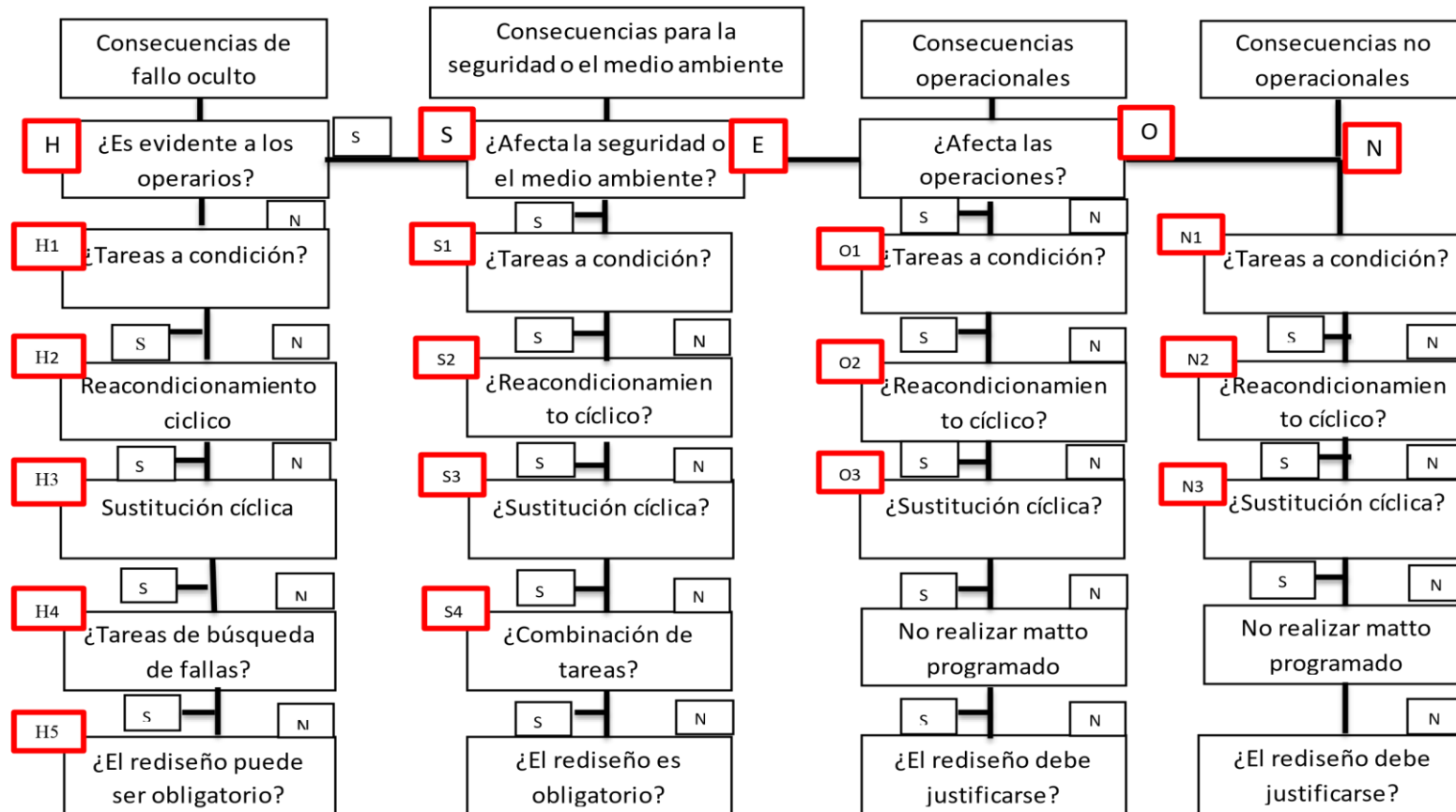


Figura 07. Arbol lógico de decisiones, Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – Jhon Moubray, 2004

- **Hojas de información:** Previamente al desarrollo de la hoja de decisiones estratificamos la referencia de información para poder establecer las tareas propuestas mediante las hojas de información.

Tabla 06: Ejemplo de una hoja de información. Fuente: Da Costa, 2010.

Nombre del equipo: Motor de combustión interna marca AJAX						
sistema: Encendido						
Pieza	Función que desempeña (F)		Modo de fallo funcional (FF)		Causas potenciales de fallo(FM)	
Bujía	1	Genera la chispa de encendido del motor.	A	Golpeteo del motor	1	Suciedad
					2	Excesivo entrehierro
			B	No hay chispa	1	Desgaste
			C	Ruido	1	Suciedad
			D	Oscilaciones	1	Excesivo entrehierro
					1	Contaminación con grasa.
Magneto	2	Genera la corriente que se suministra a la bujía.	A	No hay chispa	1	Corto circuito
			B	Masa hace tierra	1	Cable suelto
			C	Golpeteo del motor	1	Magneto con suciedad
Bobina	3	Envía corriente a la bujía.	A	No hay chispa	1	Cable roto
						Pérdida de carga.
Cable bujía	4	Envía chispa a bujía.	A	Circuito abierto	1	Cable corroído / sulfatado
					2	Cable suelto
			B	Golpeteo del motor	1	Cable a tierra
					2	Cable suelto
			C	Ruido	1	Cable suelto
					2	Cable a tierra
Cableado eléctrico	5	Conexión eléctrica del motor	A	Circuito abierto	1	Cable corroído / sulfatado
			B	Ruido	1	Cable suelto
			C	No hay chispa	1	Cable corroído / sulfatado



- **Hojas de decisión:** Es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las consecuencias y las tareas, y es en esta etapa en la que podremos responder a las últimas 3 preguntas de la metodología del RCM:
  - ¿Qué importa si falla?
  - ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
  - ¿Qué debe hacerse en caso de no encontrar una tarea proactivamente apropiada?

En la siguiente imagen se muestra la hoja de decisiones, el cual es uno de los documentos centrales utilizados en la metodología.

Tabla 07: Ejemplo de una hoja de decisión de RCM.

HOJA DE DECISIONES			Sistema:									Facilitador:	Fecha:	HOJA N°1	
			subsistema:									Auditor:	Fecha:	de:	
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea propuesta	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						

Fuente: Da Costa, 2010

El uso de la hoja de decisiones permite asentar respuestas a las preguntas formuladas en el árbol de decisiones, y en función de dichas respuestas registrar:

□ Que mantenimiento de rutina se va a efectuar, la frecuencia y el responsable de la ejecución; es en este punto en que empleando los datos de vida de los equipos al hallar sus factores característicos de la vida útil.

- Que fallas son tan serias que justifican el rediseño; estas tareas serán derivadas al personal de Ingeniería de Mantenimiento para su aprobación, ejecución y control [Da Costa, 2010].

#### ▪ **Análisis de Criticidad de Equipos**

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla, (Améndola, 2002).

La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por las multiplicaciones de los impactos de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación, (<http://aprendizajevirtual.pemex.com>).

$$V. C = I.F. F \times I \quad \dots\dots\dots (09)$$

Dónde:

V.C: Valor crítico

I.F.F: Impacto de frecuencia de fallas

I: Consecuencias o impactos

Las consecuencias o impactos, se determina según la formulación:

$$I = I. C. P * I. C. M * I. P. M + I. P + I. A \quad \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

I.C.P: Impacto en los costos de producción

I.C.M: Impacto en los costos de mantenimiento

I.P.M: Ponderación del impacto al personal de mantenimiento

I.P: Impacto a la población

I.A: Impacto ambiental

La siguiente tabla 08, se muestra los criterios para estimar la frecuencia.

Tabla 08. Criterios para estimar la frecuencia

Categoría o frecuencia	Tiempo medio entre fallas TMEF, horas/falla	interpretación
5	$TMEF < 1$	Es probable que ocurran varias fallas en una hora.
4	$1 \leq TMEF < 10$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 horas, pero es poco probable que ocurra en 1 hora.
3	$10 \leq TMEF < 100$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 horas, pero es poco probable que ocurra en 100 horas.

2	$100 \leq \text{TMEF} < 1000$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 horas, pero es poco probable que ocurra en 100 horas.
1	$\text{TMEF} \geq 1000$	Es poco probable que ocurran en 1000 horas.

Fuente: <http://aprendizajevirtual.pemex.com>

- Los Impactos en Los costos de producción (I.C.P) cuantifican las consecuencias que los eventos no deseados generan sobre el negocio. Para ellos se deben determinar los costos de producción respecto a las horas perdidas, (Améndola, 2002).

$$C_p = (\text{TPR} \times C_{up}) \quad \dots \dots (11).$$

Donde:

$C_p$ : Costos de producción (S. /hora)

TPR: Tiempo para reparar (horas de reparación/año)

$C_{up}$ : Costos unitarios de producción (S. /año) (S. /hora)

- Los impactos en los costos de mantenimiento I.C.M, se evaluarán considerando los siguientes factores:

- Equipos afectados
- Costos de Reparación
- Costos de mano de obra

$$C_m = (C.r + C.m.o) \quad \dots \dots (12).$$

Donde:

$C_m$ : Costos de mantenimiento (S. /año)

C.r: Costos de repuestos (S. /año)

C.m.o: Costos en mano de obra (S. /año)

Tabla 09. Categoría de los impacto

Categoría	Impacto personal de mantenimiento (I.P.M)	Impacto en la población (pacientes) (I.P)	Impacto Ambiental (I.A)	Perdida de Producción con respecto a las horas pérdidas (S./año) Impacto en costos de producción (I.C.P)	Costos de mantenimiento (S./año) Impacto de costos mantenimiento (I.C.M)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 000	Mayor de 50 000
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	De 15 000 a 50 000	De 15 000 a 50 000
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 000 a 15 000	De 5 000 a 15 000
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes regulaciones.	De 500 a 5 000	De 500 a 5 000
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500	Hasta 500

Fuente: <http://aprendizajevirtual.pemex.com>

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado  
en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa  
Cogorno S.A Trujillo

32

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad diseñada para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

Matriz de Criticidad



Figura 08. Matriz de Criticidad diseñada

Fuente: <http://aprendizajevirtual.pemex.com>



## 1.4 Formulación del problema

¿En qué medida la aplicación de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad, aumentará la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo?

## 1.5 Justificación del estudio

Para la justificación de la investigación se ha tomado como referencia cuatro relevancias, las cuales se detallan a continuación.

### ▪ Relevancia económica:

El sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores eléctricos asíncronos trifásicos, traerá consigo un beneficio económico para la empresa Cogorno, reduciendo los retrasos de la producción, los costos de mantenimiento y aumentando la producción.

### ▪ Relevancia tecnológica:

La aplicación de tecnologías de mantenimiento centrado en la confiabilidad, ayudará a reducir las fallas críticas, logrando una mayor disponibilidad de los motores asíncronos, la aplicación de este proyecto servirá como guía para todas las empresas del mismo rubro o utilicen motores eléctricos como equipos críticos.

### ▪ Relevancia institucional:

El sistema de un plan RCM, busca reducir las fallas en operación de los motores de la planta de procesos térmicos, lo que conllevará a mejorar su competitividad frente a otras Empresas. Esto implica a que el alumno de la Universidad Cesar Vallejo extienda y aplique sus conocimientos al campo laboral.

**▪ Relevancia socio-ambiental:**

El sistema de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la empresa Cogorno, permitirá que los repuestos tengan una mayor durabilidad, minimizando la masa de metal al medio ambiente.

**1.6 Hipótesis**

La elaboración de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad, si aumentará la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.

**1.7 Objetivos****▪ Objetivo General**

Elaborar un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.

**▪ Objetivos específicos**

- ❖ Evaluar la situación actual del mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos de la planta de procesos térmicos de la empresa cogorno S.A.
- ❖ Determinar los indicadores de mantenimiento: disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en condiciones actuales de cada uno de los motores asíncronos trifásicos y los indicadores globales.
- ❖ Evaluar mediante un análisis de criticidad que elementos o sistemas activos de los motores asíncronos trifásicos son críticos, semicríticos y no críticos.

- ❖ Desarrollar los AMEF (Análisis Modos y Efectos de fallo) para los sistemas críticos y semicríticos de los motores asíncronos trifásicos para el diseño de un plan RCM. Y determinar el número de prioridad de riesgos para clasificar cada modo de fallas en inaceptable, reducible a deseable y aceptable.
- ❖ Elaborar un programa de actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los elementos críticos y semicríticos de los motores eléctricos.
- ❖ Estimar la reducción de los costos de producción y mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos con la aplicación del plan RCM, para obtener el beneficio neto.
- ❖ Estimar los indicadores del mantenimiento en condiciones de mejora para cada motor eléctrico dependiendo del tipo de activo o máquina de accionamiento y evaluación de los indicadores globales con la aplicación del RCM.

## II. MÉTODO

### 2.1 Diseño de investigación

Según corresponde: Pre-experimental

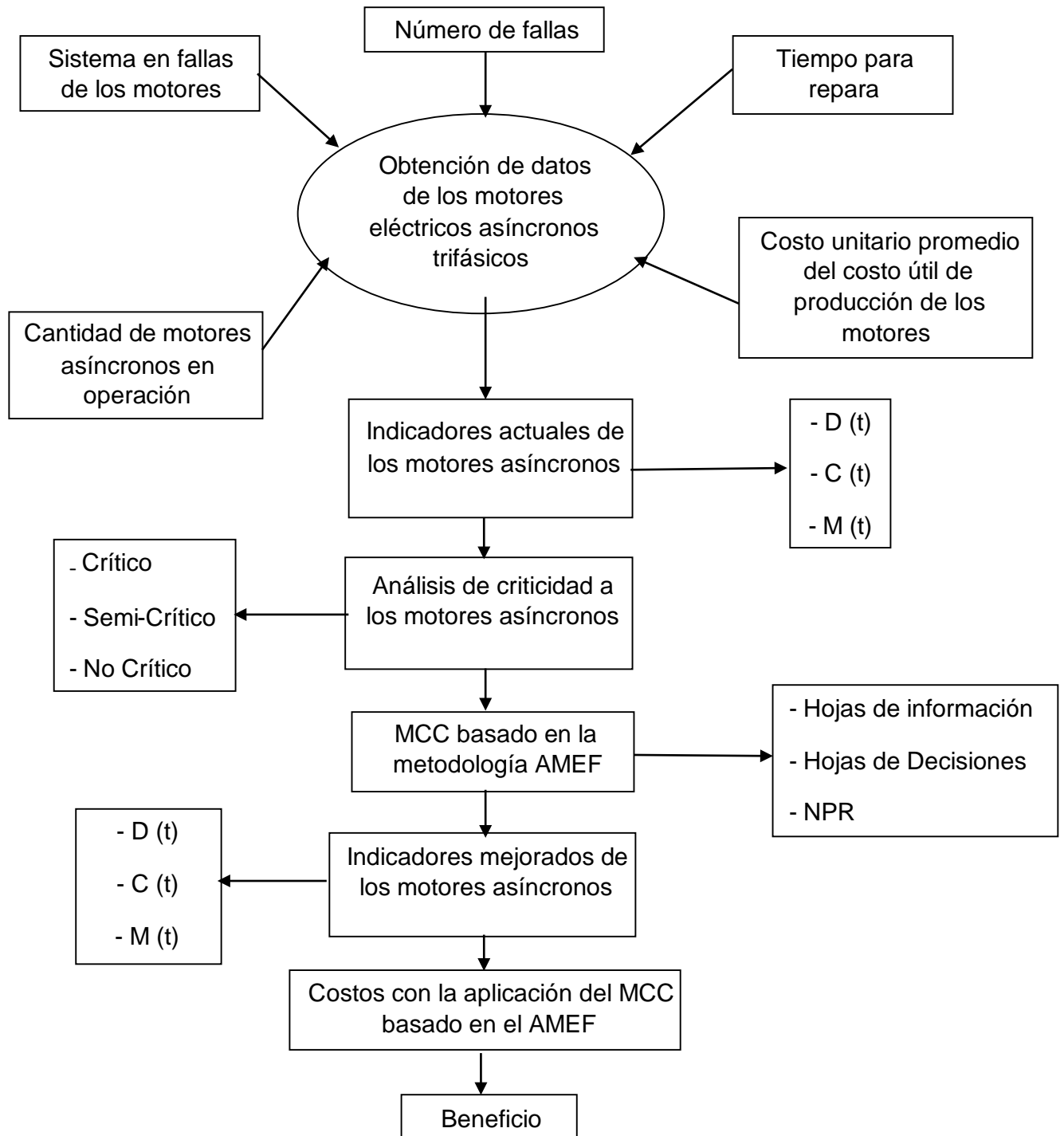


Figura 09. Metodología para el diseño de investigación, Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Variables, operacionalización:

### □ Variables independientes:

- Sistema de Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
  - ✓ Análisis de modos y efectos de fallos AMEF.

### □ Variables dependientes:

- Disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos ✓
  - Confiabilidad operacional.
  - ✓ Mantenibilidad.
  - ✓ Costos totales.

□ **Operacionalización de variables:**

Tabla 10: Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable	Definición de Conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición
Sistema de Mantenimiento RCM	Conjunto de actividades destinadas a la conservación de las partes y conjuntos de las maquinas o equipos, para llegar a cumplir con su ciclo de vida.	Conjunto de actividades correctivas y predictivas desarrolladas en el tiempo, para la conservación de los equipos.	Disponibilidad Confiabilidad Mantenibilidad	Numérica
Aumento de la Disponibilidad	Disponibilidad: Confianza de que un equipo u/o máquina que sufrió mantenimiento, ejerza su función En un determinado tiempo.	Es el cociente entre el tiempo medio entre fallas y la suma del tiempo medio para reparar y el tiempo medio entre fallas.	$D(t) = \left( \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right)$	Numérica
	Confiabilidad: Confianza que se tiene de que un equipo u/o máquina desempeñe su función básica, durante un período de tiempo.	Es la constante de Napier, elevado al negativo de la tasa de falla por el tiempo total para producir dividido entre cien.	$R(t) = \left( e^{\frac{-\lambda * T_{po}}{100}} \right)$	
	Mantenibilidad: Expectativa que se tiene de que un equipo u/o máquina pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo.	Es el valor unitario menos la constante de Napier, elevada al negativo de la tasa de reparaciones por el tiempo total para producir dividido entre cien.	$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu * T_{po}}{100}} \right)$	

Costos totales	Son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento.	Es la suma de los costos de mantenimiento y costos de producción. Para luego restar el	$C = C_m + C_p$	Numérica.
----------------	--	---	-----------------	-----------

Fuente: Elaboración propia

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo

### 2.3. Población y muestra:

▪ **Población:**

Motores eléctricos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.

▪ **Muestra:**

Motores eléctricos asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.

### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

- **Técnicas:** Los procedimientos concretos que se utilizó para lograr la información en la presente tesis son:

Tabla 13: Técnicas e instrumentos del proyecto

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Ficha de registro de fallas
Encuesta	Cuestionario

Fuente: Elaboración propia

### 2.5. Métodos de análisis de datos:

Con las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se extraerán datos de entrada como el número de motores asíncronos trifásicos, sistemas en fallas, numero de falas o intervenciones, costo unitario promedio útil de producción de los motores, obteniendo el tiempo promedio entre fallas que es el cociente de la sumatoria de los tiempos entre falla y numero de fallas, tiempo promedio para reparar , que es el cociente de la sumatoria de los tiempos para reparar y el número de falla, tasa de fallas que es el valor inverso del tiempo promedio entre fallas y tasa de reparaciones que es el valor inverso del tiempo promedio para reparar.



En segundo lugar, se determinarán los indicadores de mantenimiento como son: disponibilidad la cual es el cociente entre el tiempo medio entre fallas y la suma del tiempo medio para reparar y el tiempo medio entre fallas, confiabilidad que es la constante de Napier, elevado al negativo de la tasa de falla por el tiempo total para producir dividido entre cien y la mantenibilidad que es el valor unitario menos la constante de Napier, elevada al negativo de la tasa de reparaciones por el tiempo total para producir dividido entre cien en estado actual. Para luego a través de un análisis de criticidad de equipos, que se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por las multiplicaciones de los impactos de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación, determinando que motores son críticos, Semicritico y no críticos.

En tercer lugar, se desarrollaron las hojas de información y se determinó el número de prioridad de riesgo (NPR) que es la multiplicación de los tres índices: Gravedad, ocurrencia, detección para obtener las fallas indeseables y analizarlas en las hojas de decisiones y poder establecer un plan de mantenimiento.

En cuarto lugar, se determinarán la reducción de los costos de producción y costos de mantenimiento y los nuevos indicadores de mantenimiento, en los cuales se reflejará el aumento de la disponibilidad y la confiabilidad.

## **2.6 Aspectos Éticos:**

Todos los Técnicos que operan en las áreas de producción fueron informados del procedimiento. Como parte de los criterios de seguridad establecidos por la institución para toda intervención de falla, a cada técnico, se les aplicó un formato de encuesta para reportar el tipo de falla ocurrido durante el periodo 2015.

Esta autorización fue aceptada en términos de estado consciente y voluntario por parte del técnico. El documento fue corroborado con las firmas correspondientes y documentos de identificación, ya sea por los mismos técnicos y por la empresa responsable.

### **III. RESULTADOS**

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo

46

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco



### 3.1. Evaluación de la situación actual o inicial de los motores asíncronos trifásicos de la planta de procesos térmicos de la empresa Cogorno S.A

#### 3.1.1. Número motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A

Cogorno S.A, en su planta de procesos térmicos cuenta con 11 tipos de activos o máquinas de accionamiento, tal como se muestra en la figura 11.

El número de motores asíncronos trifásicos, seria:

$$N^{\circ}M.E = 17+27+19+31+9+8+6+5+4+10+49 = 185$$

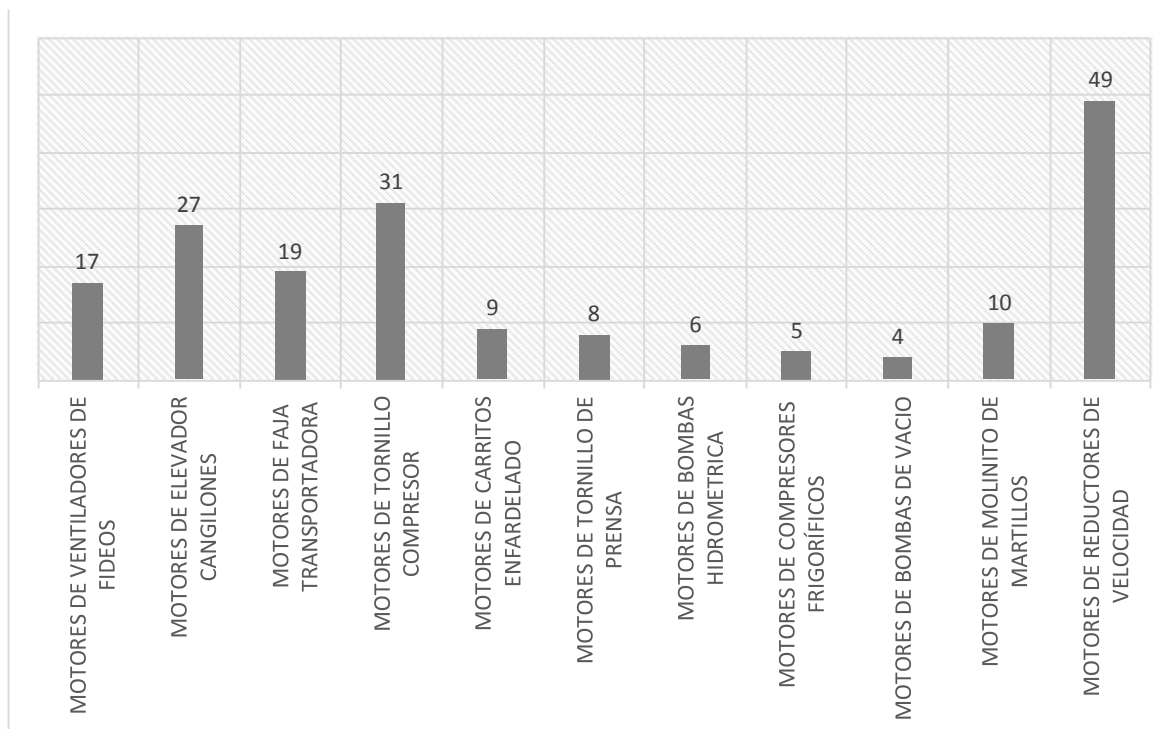


Figura 11: Número de motores asíncronos trifásicos, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2. Número de rotores jaula ardilla y rotores de bobinado

#### a) Número de motores eléctricos con rotor jaula ardilla

$$\text{N}^{\circ}\text{M.E (Jaula Ardilla)} = 14+20+15+21+5+8+5+2+3+8+35=136$$

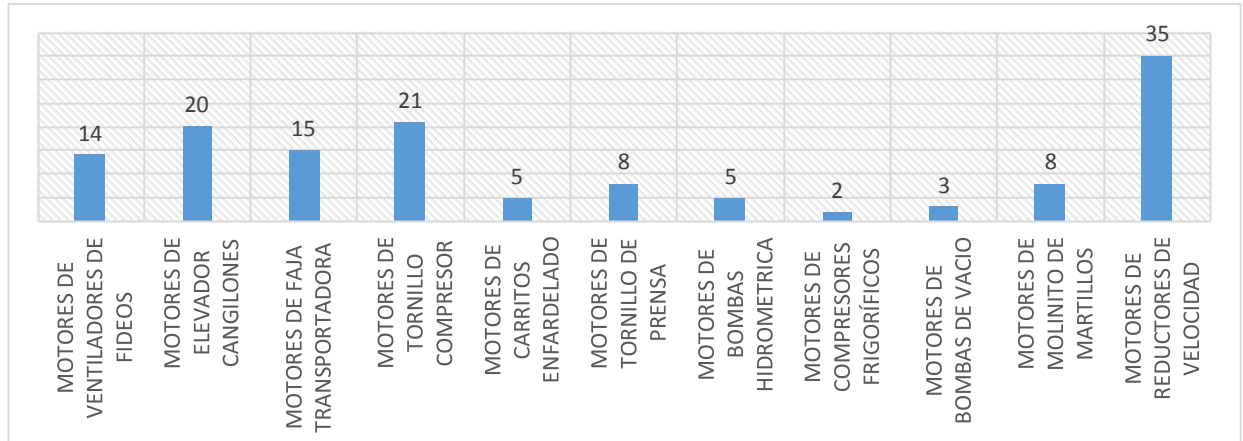


Figura 12: Número de rotores jaula ardilla, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

#### b) Número de motores eléctricos con rotor de bobinado

$$\text{N}^{\circ}\text{M.E (Bobinado)} = 3+7+4+10+4+0+1+3+1+2+14=49$$

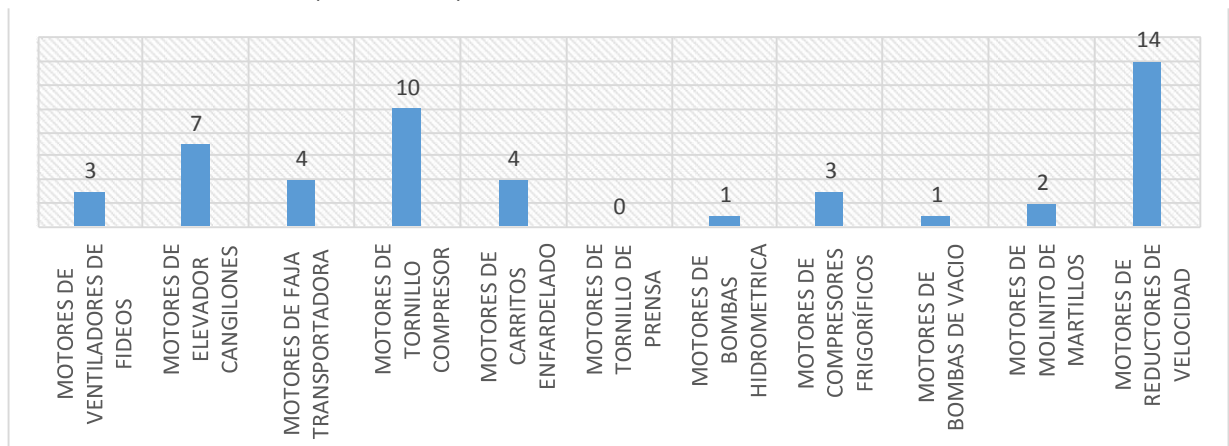


Figura 13: Número de rotores de bobinado, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. Tiempo para reparar de los motores asíncronos trifásicos

El tiempo para reparar total en el periodo 2015, seria:

$$TPR = 840 + 1007 + 1044 + 789 + 328 + 857 + 429 + 728 + 438 + 1314 + 941$$

$$TPR = 8715 \text{ horas de reparación/año}$$

En la figura 14, se detallan los tiempos para reparar de cada motor asíncrono trifásico

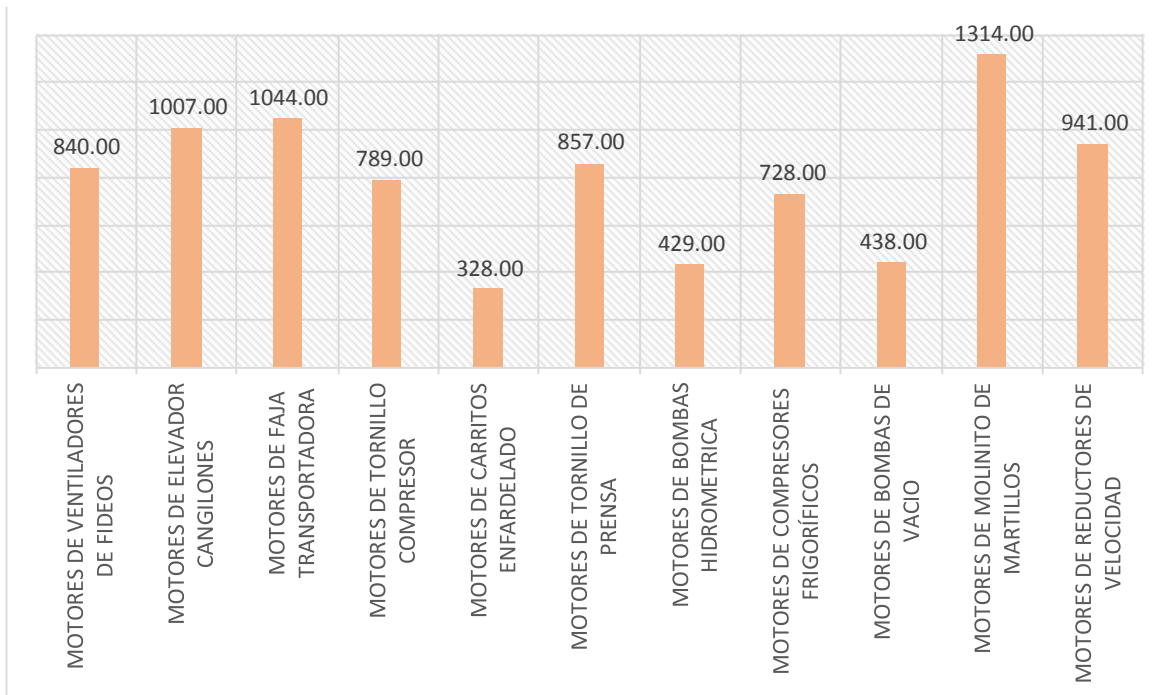


Figura 14: Tiempo para reparar de los M.E, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4. Tiempo entre fallas o tiempo de operación útil de los motores asíncronos trifásicos

El tiempo entre falla total en el periodo 2015, seria:

$$TEF = 7555+7388+6986+7971+7883+7719+8149+6937+6862+7446+7613$$

$$TEF = 82509 \text{ horas útiles/año}$$

En la figura 15, se detallan los tiempos entre fallas de cada motor asíncrono trifásico

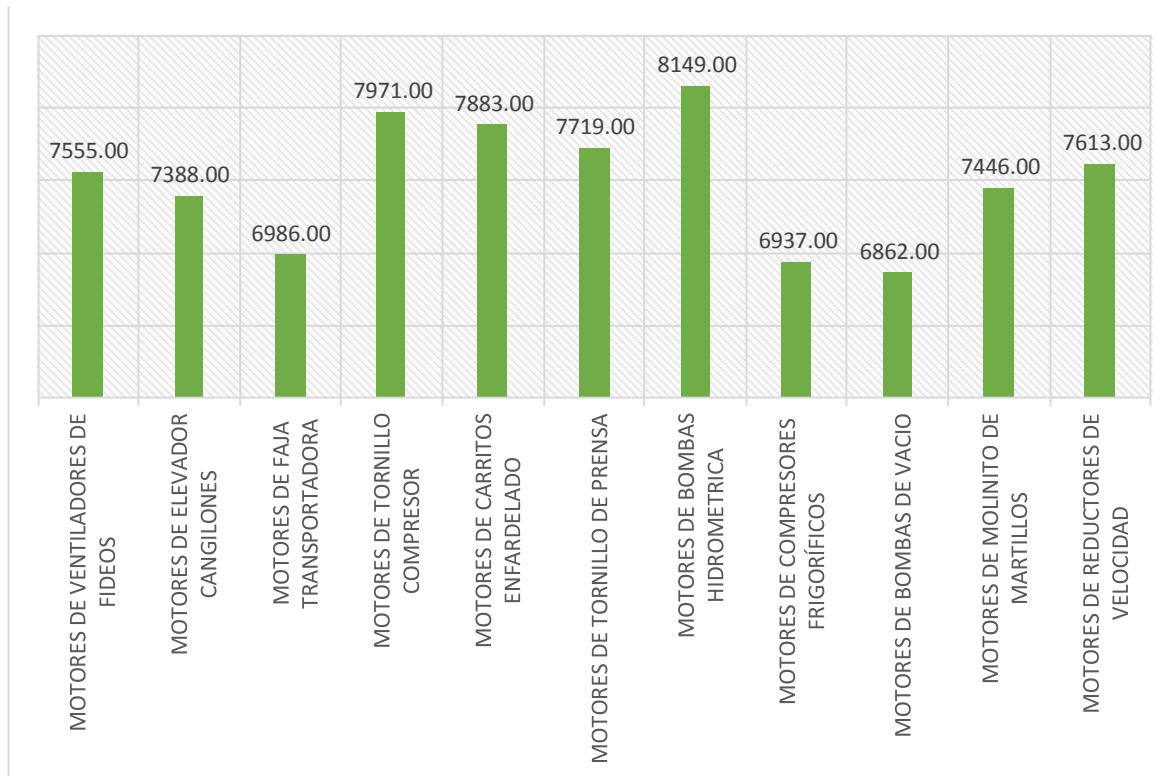


Figura 15: Tiempo entre falla de los M.E, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.5. Cantidad de intervenciones de los motores asíncronos trifásicos

La cantidad de intervenciones total en el periodo 2015, seria:



$$n = 136+225+203+194+58+71+52+101+75+180+287$$

$$n = 1582 \text{ intervenciones/año}$$

En la figura 16, se detallan la cantidad de intervenciones de cada motor asíncrono trifásico

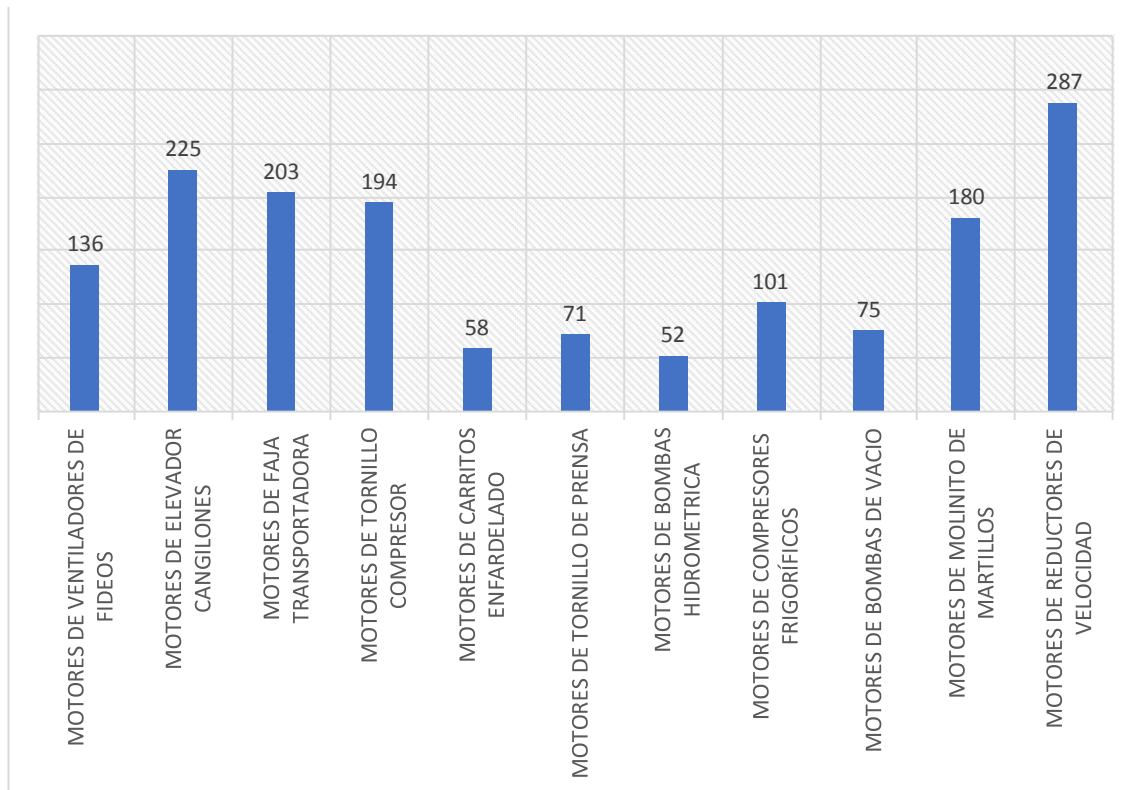


Figura 16: Cantidad de intervenciones de los M.E, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6. Tiempo medio para reparar de los motores asíncronos trifásicos

El tiempo medio para reparar global de los motores eléctricos sería:

$$TMPR = TPR/n$$

$$TMPR = (8715 \text{ horas de reparación/año}) / (1582 \text{ intervenciones/año})$$



$TMPR = 5.509$  horas de reparación/intervención

En la figura 17, se detallan los tiempos medios para reparar de cada motor asíncrono trifásico

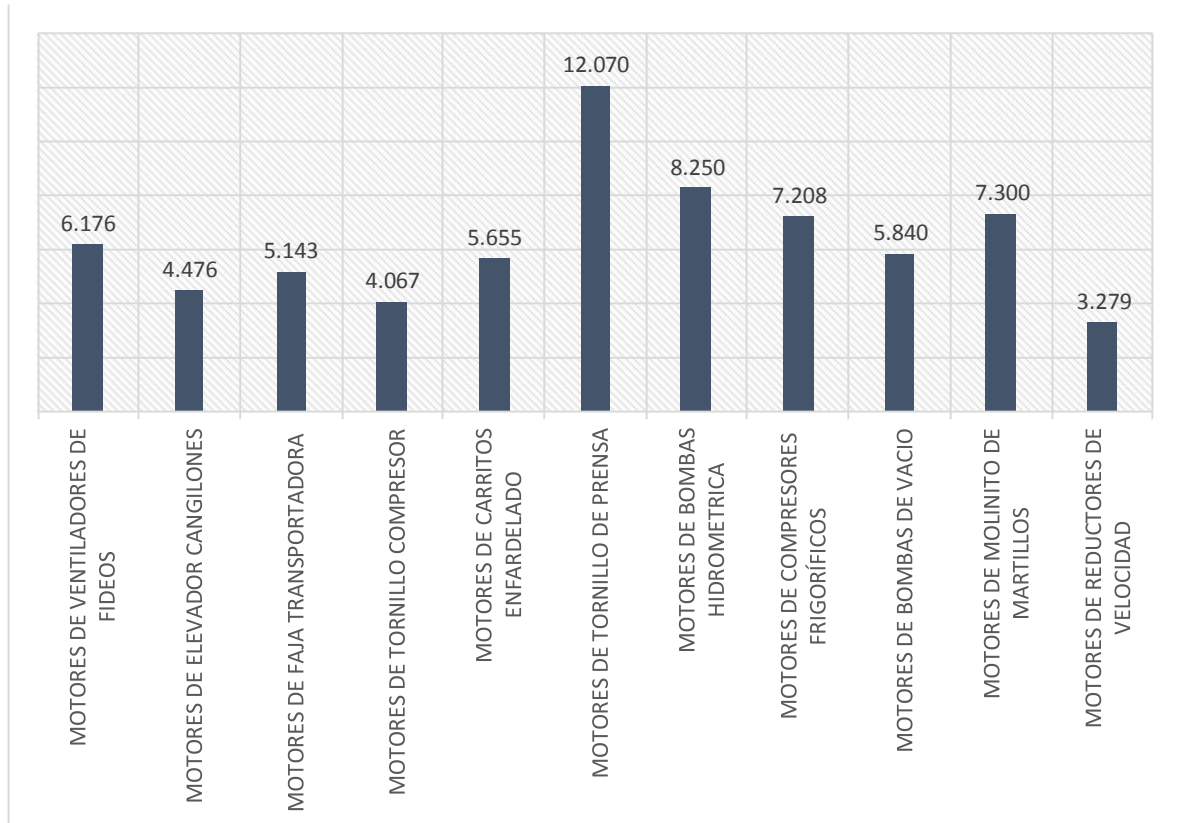


Figura 17: Tiempo medio para reparar de los M.E, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.7. Tiempo medio entre fallas de los motores asíncronos trifásicos

El tiempo medio entre fallas global de los motores eléctricos sería:

$$TMEF = TEF/n$$

$$TMEF = (82509 \text{ horas útiles/año}) / (1582 \text{ intervenciones/año})$$

$$TMEF = 52.155 \text{ horas útiles /intervención}$$

En la figura 18, se detallan los tiempos medios entre fallas de cada motor asíncrono trifásico

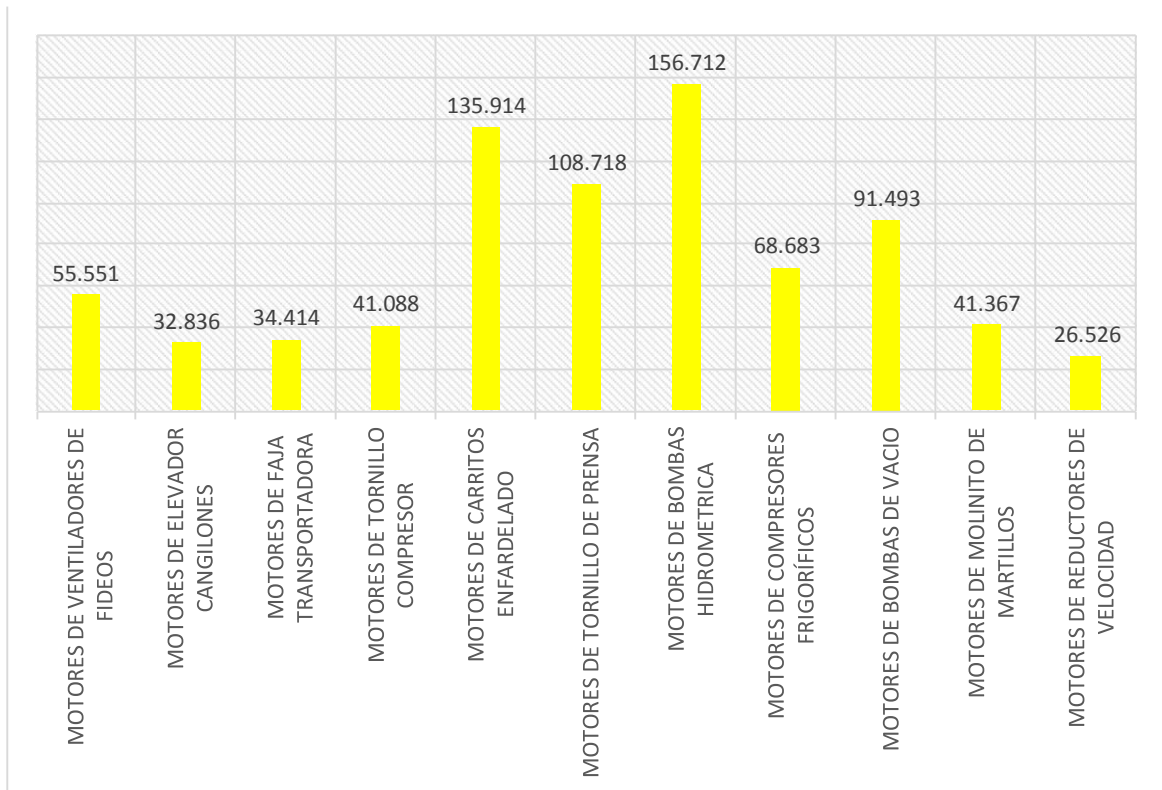


Figura 18: Tiempo medio entre fallas de los M.E, según el tipo de activo o máquina de accionamiento, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.8. Tasas de fallas de los motores asíncronos trifásicos

La tasa de fallas global de los motores eléctricos sería:

$$\lambda = 1 / \text{TMEF}$$

$$\lambda = 1 / (52.155 \text{ horas útiles / intervención})$$

$$\lambda = 0.019 \text{ intervención / horas útiles}$$

En la figura 19, se detallan las tasas de fallas de cada motor asíncrono trifásico

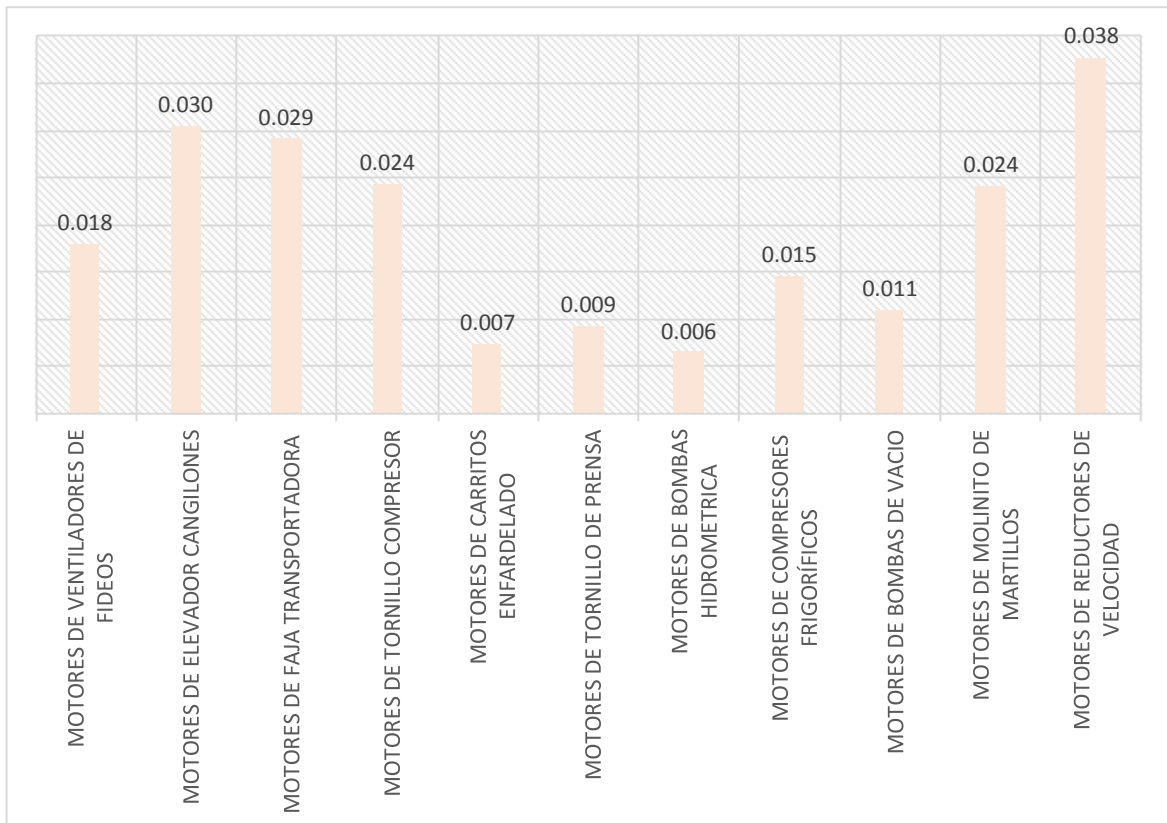


Figura 19: Tasas de fallas de los M.E, según el tipo de activo, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.9. Tasa de reparación de fallas de los motores asíncronos trifásicos La

tasa de reparaciones global de los motores eléctricos sería:

$$\mu = 1/\text{TMPR}$$

$$\mu = 1/(5.509 \text{ horas de reparación/intervención}) \mu$$

$$= 0.182 \text{ intervención/ horas de reparación}$$

En la figura 20, se detallan las tasas de reparación de cada motor asíncrono trifásico

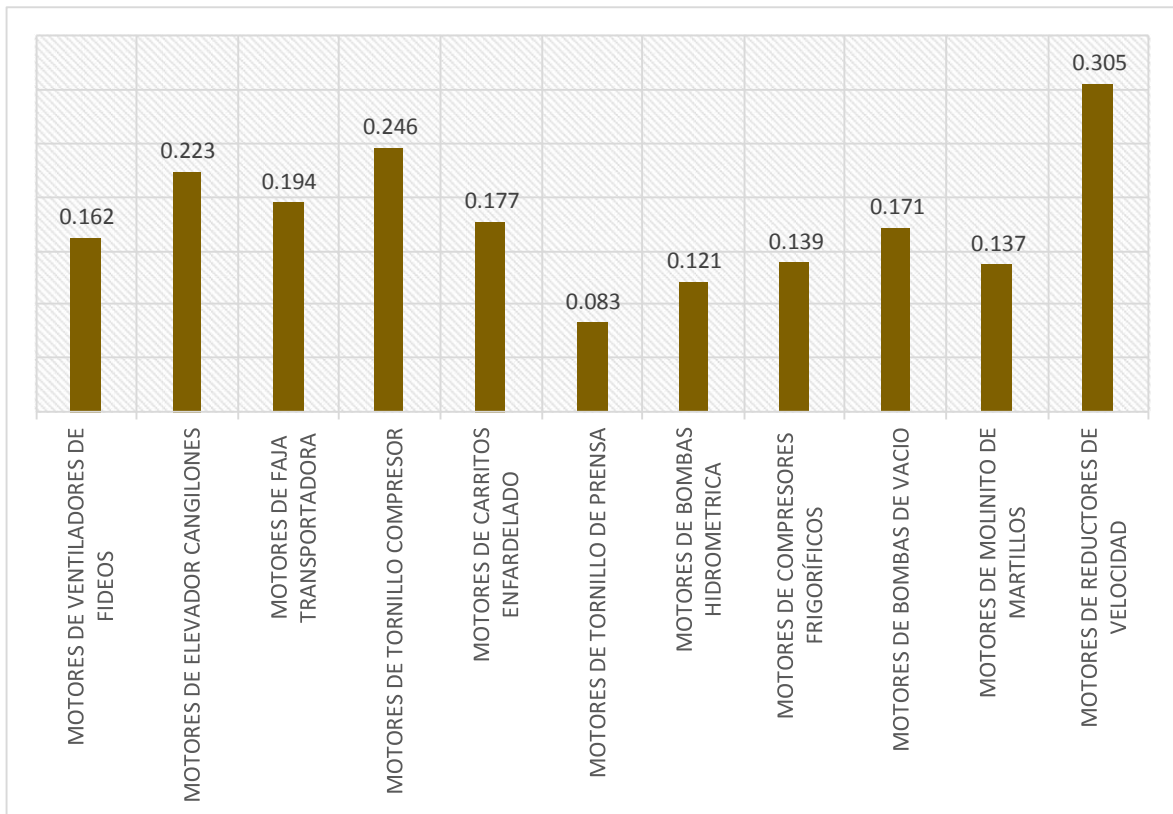


Figura 20: Tasas de reparaciones de los M.E, según el tipo de activo, Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.10. Tiempo total de los motores asíncronos trifásicos

El tiempo total de los motores, sería:

$$t = 8395 + 8395 + 8030 + 8760 + 8211 + 8576 + 8578 + 7665 + 7300 + 8760 + 8554$$

$$t = 91224 \text{ horas totales/año}$$

En la figura 21, se detallan los tiempos totales de cada motor asíncrono trifásico

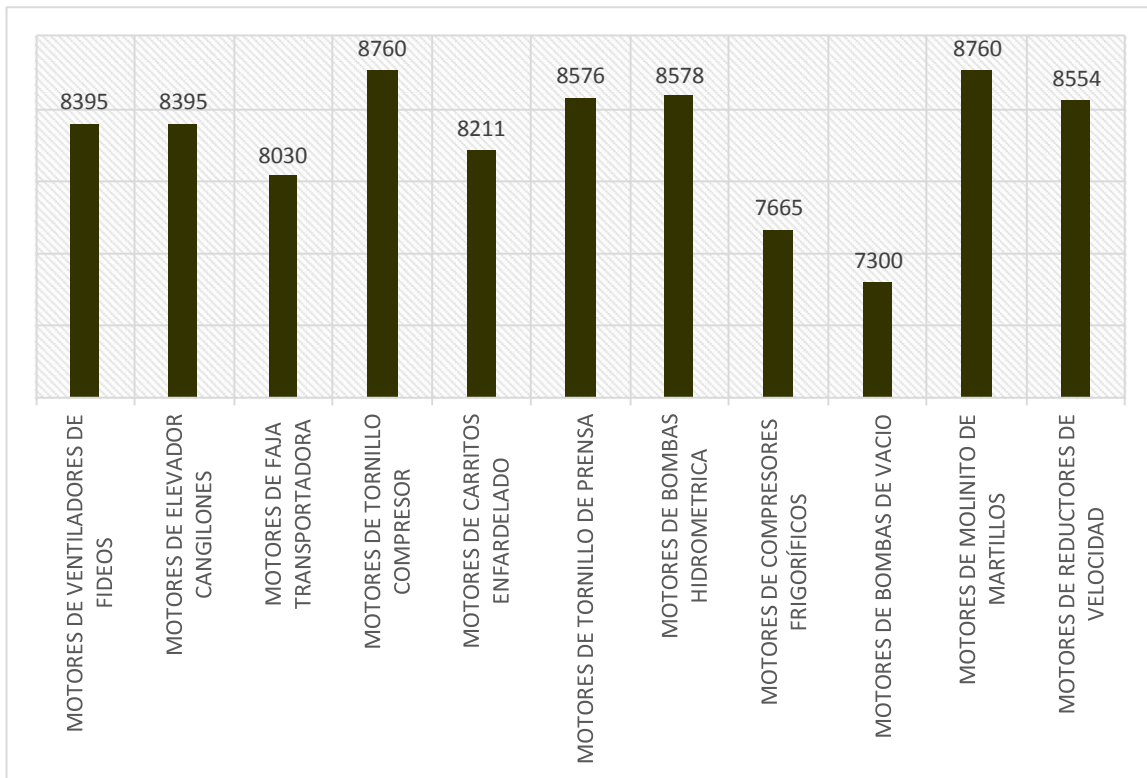


Figura 21: Tiempo total de los M.E, según el tipo de activo, Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Determinación de los indicadores de mantenimiento en estado inicial o actual de los motores asíncronos trifásicos

#### 3.2.1. Indicadores de mantenimiento por cada motor asíncrono trifásico

##### a) Determinación de la disponibilidad por cada motor asíncrono trifásico

- Para el motor de ventiladores de fideos:

Remplazando en la ecuación (03), tendríamos:



$$D(t) = \left( \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \right) * 100\% = \left( \frac{55.551}{55.551 + 6.176} \right) * 100\%$$

$$D(t) = 89.99\%$$

Basándonos en la misma formulación, en la figura 22, se muestra la disponibilidad por cada motor asíncrono trifásico.

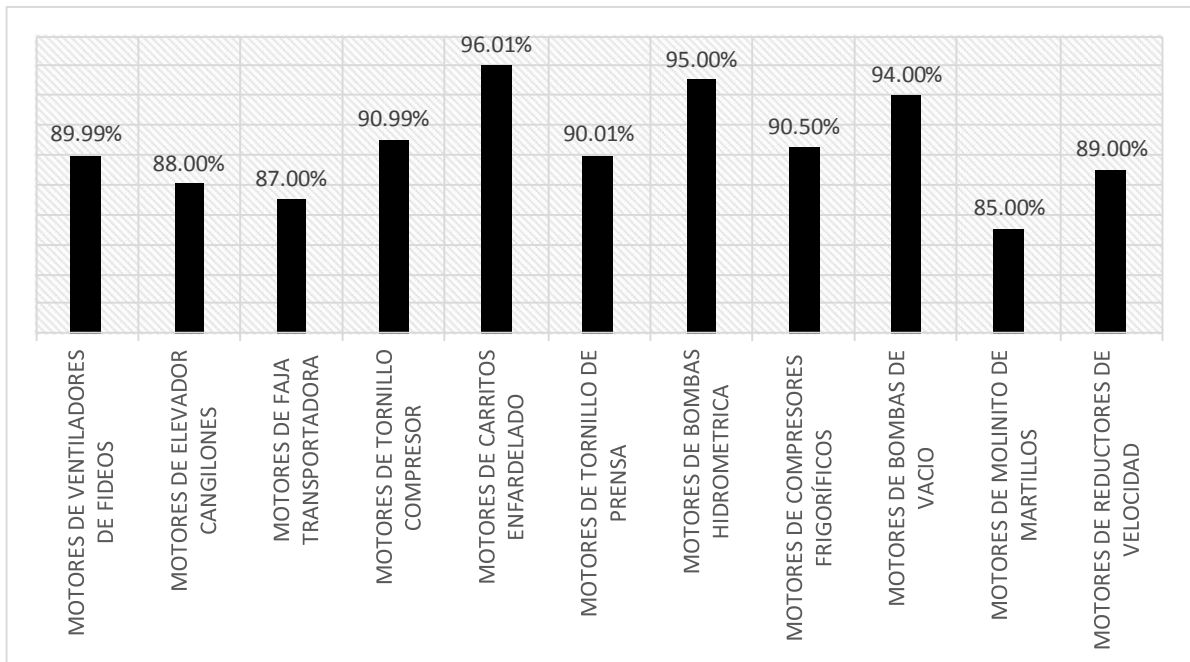


Figura 22: Disponibilidad por cada motor asíncrono trifásico, Fuente: Elaboración propia.

### b) Determinación de la confiabilidad por cada motor asíncrono trifásico

- Para el motor de ventiladores de fideos:

Remplazando en la ecuación (04), tendríamos:

$$C(t) = \left( e^{\frac{-\lambda * t}{100 * N^{\circ}ME}} \right) * 100\% = \left( e^{\frac{-0.018 * 8395}{100 * 17}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 91.49\%$$

Basándonos en la misma formulación, en la figura 23, se muestra la confiabilidad por cada motor asíncrono trifásico.

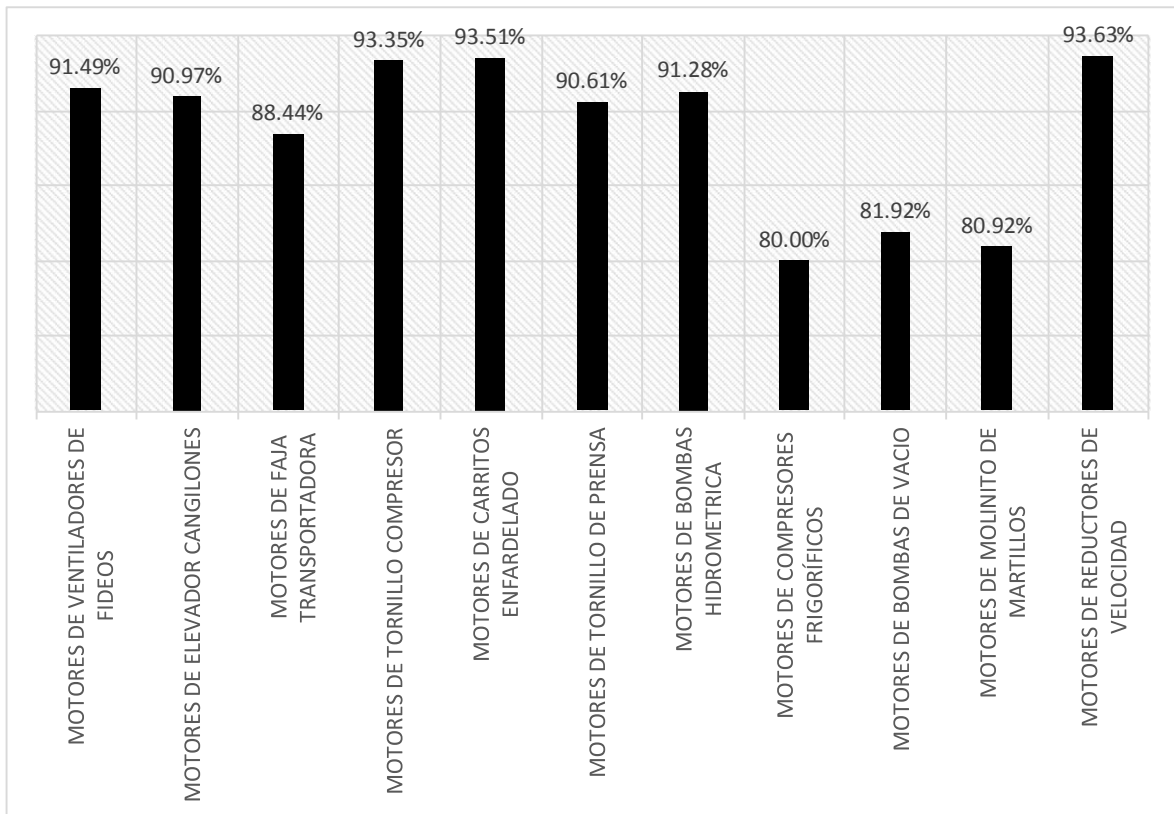


Figura 23: Confiabilidad por cada motor asíncrono trifásico, Fuente: Elaboración propia.

### C) Determinación de la mantenibilidad por cada motor asíncrono trifásico

- Para el motor de ventiladores de fideos:

Remplazando en la ecuación (06), tendríamos:

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu * t}{100 * 12 * N^{\circ} M.E}} \right) * 100\% = \left( 1 - e^{\frac{-0.162 * 8395}{100 * 12 * 17}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 6.45\%$$

Basándonos en la misma formulación, en la figura 24, se muestra la mantenibilidad por cada motor asíncrono trifásico.

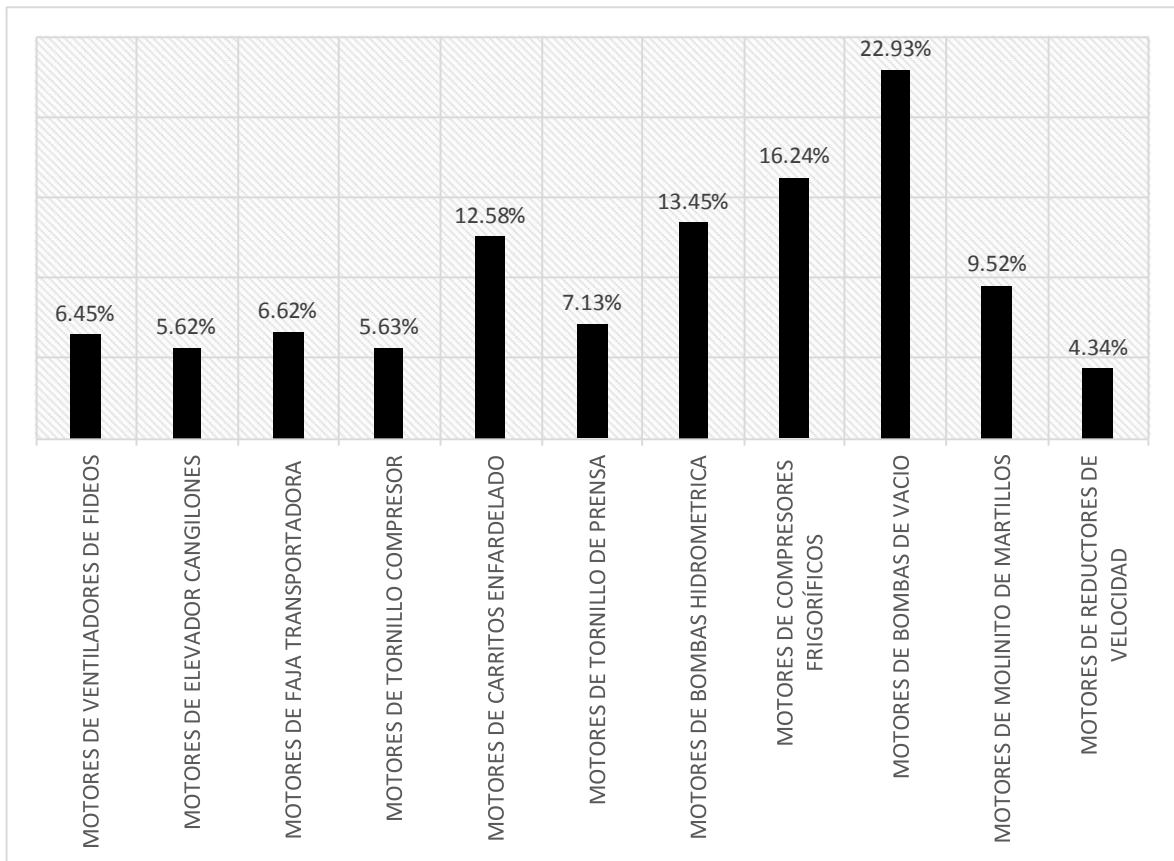


Figura 24: Mantenibilidad por cada motor asíncrono trifásico, Fuente: Elaboración propia.



### 3.2.2. Indicadores de mantenimiento globales de los motores asíncronos trifásicos

En la tabla 14, se detallan las condiciones iniciales globales de los motores asíncronos trifásicos.

Tabla 14: Condiciones globales de los motores asíncronos trifásicos

TPR	TEF	n	TMPR	TMEF	$\lambda$	$\mu$	N° M.E	t	Disponibilidad (%)	Confiabilidad (%)	Mantenibilidad (%)
8715.00	82509.00	1582	5.509	52.155	0.019	0.182	185	91224.00	90.45%	90.98%	7.19%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 25, se muestran los indicadores de mantenimiento globales en estado actual de los motores asíncronos

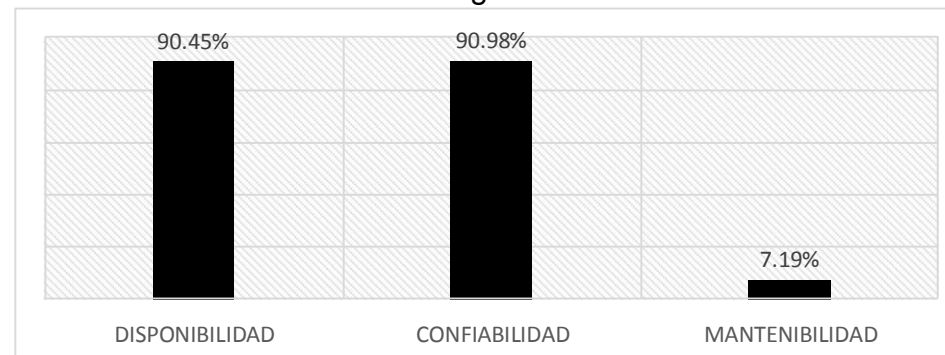


Figura 25: Indicadores globales actuales de los M.E, Fuente: Elaboración propia.



“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado  
Cruzado, Wilmer Francisco en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad  
de los motores asíncronos trifásicos de la empresa  
Cogorno S.A Trujillo

56

Idrogo

### 3.3. Análisis de criticidad a los elementos de los motores eléctricos asíncronos trifásicos

Para la evaluación del análisis de criticidad, son necesarios una serie de datos y cálculos previos, para poder clasificar los elementos de los motores asíncronos en críticos, semi-críticos y No críticos. A continuación, se detalla el procedimiento:

#### 3.3.1. Determinación del tiempo para reparar y número de intervenciones por cada elemento, según el tipo de activo.

##### a) Motores de ventiladores de fideos

Tabla 15: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
73	9
36	6
57	8
10	3
<b>176</b>	<b>26</b>

Fuente: Elaboración propia.

14	8
<b>39</b>	<b>17</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Ventiladores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
69	7
<b>69</b>	<b>7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
48	7
89	13
55	8
38	9
58	10
68	7
<b>356</b>	<b>54</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
47	8
78	9
56	6
<b>181</b>	<b>23</b>

Tabla 18: Rodamientos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
25	9

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
8	5
11	4
<b>19</b>	<b>9</b>

Tabla 20: Fuente de alimentación

Fuente: Elaboración propia

**b) Motores de elevador cangilones**

Tabla 21: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
87	13
45	11
66	13
19	8
<b>217</b>	<b>45</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
57	12
98	18
64	13
47	14
67	15
77	12
<b>410</b>	<b>84</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
34	14
23	13
<b>57</b>	<b>27</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
78	12
<b>78</b>	<b>12</b>

Tabla 22: Ventiladores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
56	13
87	14
65	11
<b>208</b>	<b>38</b>

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
17	10
20	9
<b>37</b>	<b>19</b>

Tabla 26: Fuente de alimentación  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
47	14
36	11
<b>83</b>	<b>25</b>

Fuente: Elaboración propia.

### c) Motores de faja transportadora

Tabla 27: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
82	15
55	9
71	7
19	8
<b>227</b>	<b>39</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Ventiladores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
74	13
<b>74</b>	<b>13</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
57	9
101	15
61	13
50	12
68	15
80	14
<b>417</b>	<b>78</b>

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
55	9
82	11
60	11
<b>197</b>	<b>31</b>

Tabla 30: Rodamientos

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
25	10
21	7
<b>46</b>	<b>17</b>

Fuente: Elaboración propia.

51	9
40	14
60	11
69	17
<b>348</b>	<b>72</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
17	12
16	14
<b>33</b>	<b>26</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### d) Motores de tornillo compresor

Tabla 33: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
71	17
34	9
55	5
8	9
<b>168</b>	<b>40</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
64	10
<b>64</b>	<b>10</b>

Tabla 34: Ventiladores  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
41	9
87	12

Tabla 36: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
44	12
78	8
37	7
<b>159</b>	<b>27</b>

Fuente: Elaboración propia.

53	3
22	4
9	2
16	5
25	6
<b>132</b>	<b>22</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
8	12
9	7
<b>17</b>	<b>19</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
15	2
2	1
<b>17</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia.

### e) Motores de carritos enfardelados

Tabla 39: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
37	7
10	2
21	4
4	2
<b>72</b>	<b>15</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
7	2

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
30	3
<b>30</b>	<b>3</b>

 Tabla 40: Ventiladores  
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
10	3
44	8
3	1
<b>57</b>	<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
38	3
72	6
39	3
<b>149</b>	<b>12</b>
TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
58	3
<b>58</b>	<b>3</b>

Tabla 44: Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
12	2
8	1
<b>20</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
35	2
81	10
50	3
34	2
54	3
63	6
<b>317</b>	<b>26</b>

## f) Motores de tornillo de prensa

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
65	5
38	3
49	4
32	4
<b>184</b>	<b>16</b>

Tabla 45: Estatores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47: Rotores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49: Ejes

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46: Ventiladores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48: Rodamientos

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
40	4
30	2
36	5
<b>73</b>	<b>5</b>
<b>76</b>	<b>9</b>

Tabla 50: Fuente de alimentación

Fuente: Elaboración propia.



TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año	TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
35	1	42	2
35	1	15	4
		26	3
		9	3
		<b>92</b>	<b>12</b>

**g) Motores de bombas hidrométricas**

Tabla 51: Estatores Ventiladores

Tabla 52:

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54: Elaboración Rodamientos Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
12	2
52	3
27	7
11	2
31	1
40	2
<b>173</b>	<b>17</b>

Tabla 56:

Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
15	5
49	4
8	3
<b>72</b>	<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
17	3
13	3
<b>30</b>	<b>6</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
20	2
7	2
<b>27</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

#### h) Motores de compresores frigoríficos

Tabla 57: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
61	12
34	4
45	6
28	4
<b>168</b>	<b>26</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
31	4
60	7
41	6
30	4
50	7
59	8
<b>271</b>	<b>36</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
31	4
26	3
<b>57</b>	<b>7</b>

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
54	5
<b>54</b>	<b>5</b>

Tabla 58: Ventiladores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
34	5
68	10
27	3
<b>129</b>	<b>18</b>

Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
21	4
8	2
<b>29</b>	<b>6</b>

Tabla 62: Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
36	4
13	5
<b>49</b>	<b>9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67: Ejes  
Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

i)

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
37	10
16	3
27	5
10	3
<b>90</b>	<b>21</b>

**Motores de bombas de vacío**

Tabla 63: Estatores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65: Rotores

Fuente: propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
36	3
36	3
TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
13	2
57	3
28	4
12	2
32	6
41	7
<b>183</b>	<b>24</b>

Tabla 64: Ventiladores  
 Fuente: Elaboración propia.

75	5
58	9
<b>288</b>	<b>35</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
16	4
43	9
9	2
<b>68</b>	<b>15</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
61	9
104	12
76	8
60	13
80	12
89	16
<b>470</b>	<b>70</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68: Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
18	3
14	3
<b>32</b>	<b>6</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
69	9
56	13
<b>125</b>	<b>22</b>

Fuente: Elaboración propia.

## j) Motores de molinito de martillos

Tabla 69: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/año
91	12
64	9

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
84	10
<b>84</b>	<b>10</b>

Tabla 70: Ventiladores

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72: Rodamientos

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
64	11
98	7
57	6
<b>219</b>	<b>24</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74: Fuente de alimentación

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
66	11
62	8
<b>128</b>	<b>19</b>

Fuente: Elaboración propia.

43	15
58	11
41	15
<b>212</b>	<b>59</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77: Rotores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
41	15
87	18
57	10
38	19
58	21
67	22
<b>348</b>	<b>105</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79: Ejes

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
46	15
33	19
<b>79</b>	<b>34</b>

Fuente: Elaboración propia.

## k) Motores de reductores de velocidad

Tabla 75: Estatores

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
70	18

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
64	16
<b>64</b>	<b>16</b>

Tabla 76: Ventiladores  
Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
42	17
76	13
39	12
<b>157</b>	<b>42</b>

Tabla 78: Rodamientos  
Fuente: Elaboración propia.

TPR (Horas reparación/año)	Intervenciones/ año
42	17
39	14
<b>81</b>	<b>31</b>

Tabla 80: Fuente de alimentación  
Fuente: Elaboración propia

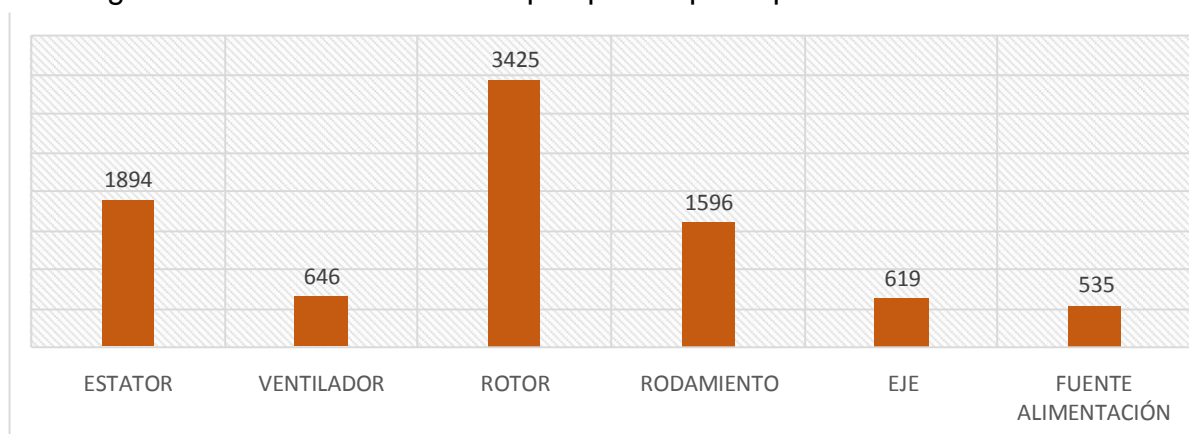
En la tabla 81, se muestran los resultados de los TPR y n por cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Tabla 82: TRP y n por elemento

Estator		Ventilador		Rotor		Rodamientos		Eje		Fuente de alimentación	
TPR	n	TPR	n	TPR	n	TPR	n	TPR	n	TPR	n
176	26	69	7	356	54	181	23	39	17	19	9
217	45	78	12	410	84	208	38	57	27	37	19
227	39	74	13	417	78	197	31	83	25	46	17
168	40	64	10	348	72	159	27	33	26	17	19
72	15	30	3	132	22	57	12	17	3	20	3
184	16	58	3	317	26	149	12	73	5	76	9
92	12	35	1	173	17	72	12	27	4	30	6
168	26	54	5	271	36	129	18	57	7	49	9
90	21	36	3	183	24	68	15	29	6	32	6
288	35	84	10	470	70	219	24	125	22	128	19
212	59	64	16	348	105	157	42	79	34	81	31
<b>1894</b>	<b>334</b>	<b>646</b>	<b>83</b>	<b>3425</b>	<b>588</b>	<b>1596</b>	<b>254</b>	<b>619</b>	<b>176</b>	<b>535</b>	<b>147</b>

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 26: se muestran los tiempos para reparar por cada elemento



En la figura 27: se muestran la cantidad de intervenciones por cada elemento



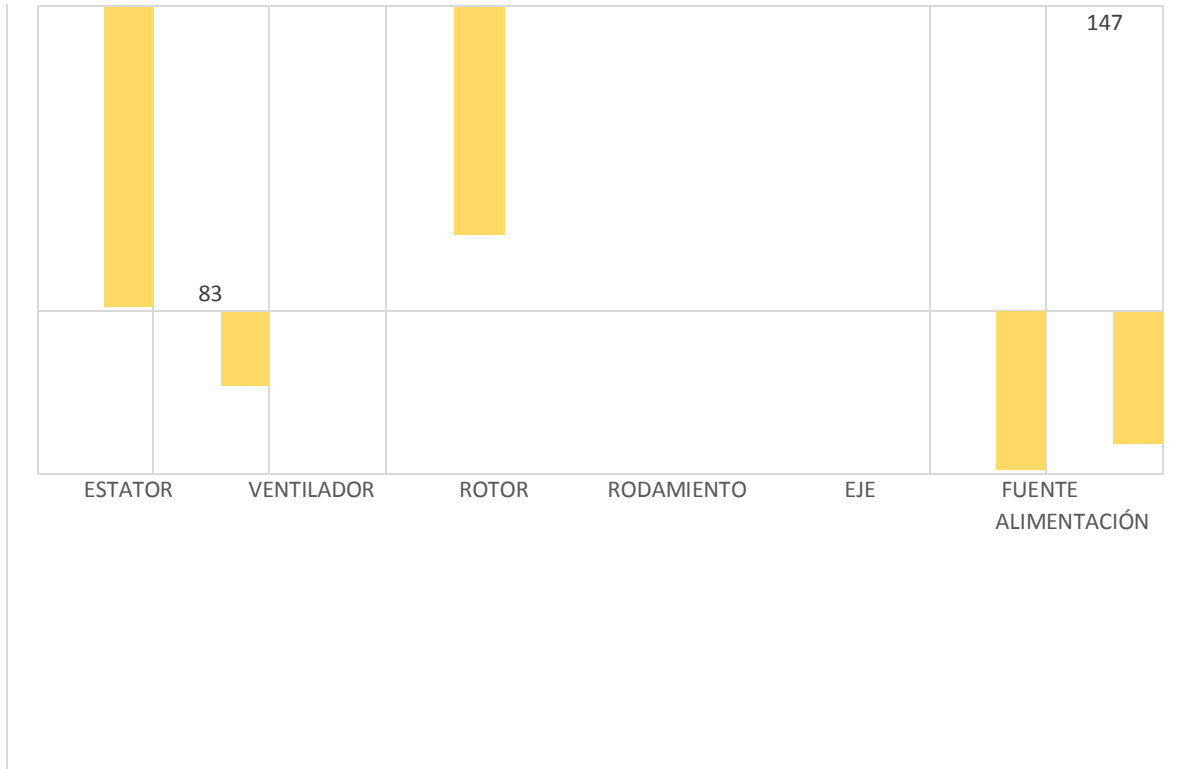


Figura 27: Cantidad de intervenciones "n", por cada elemento de los motores eléctricos, Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Determinación de los costos en pérdidas de producción por cada elemento de los motores eléctricos.

Para determinar los costos de producción respecto a las horas perdidas por fallas en los elementos de los motores asíncronos. Para tal fin se multiplicarán las horas perdidas de cada elemento por el costo unitario de cada área de la planta de procesos térmicos (Ver anexo A.4)

En las siguientes tablas se muestran los costos en pérdidas de producción por cada elemento:

Tabla 83: Perdidas en costos de producción en Estatores

Elemento: Estator		
TPR	Costo unitario S. /año	Costo total S. /año
176	64.83	11410.08
217	105.65	22926.05
227	62.45	14176.15
168	56.71	9527.28
72	32	2304.00
184	125.24	23044.16
92	25.21	2319.32
168	45	7560.00
90	36.15	3253.50
288	205.89	59296.32
212	24.57	5208.84
<b>Total</b>		<b>161025.7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84: Perdidas en costos de producción en Ventiladores

Elemento: Ventilador		
TPR	Costo unitario S. /año	Costo total S. /año
69	64.83	4473.27
78	105.65	8240.70
74	62.45	4621.30
64	56.71	3629.44
30	32	960.00
58	125.24	7263.92
35	25.21	882.35
54	45	2430.00
36	36.15	1301.40
84	205.89	17294.76
64	24.57	1572.48
<b>Total</b>		<b>52669.62</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85: Perdidas en costos de producción en Rotores

Elemento: Rotor		
TPR	Costo unitario S. /año	Costo total S. /año
356	64.83	23079.48
410	105.65	43316.50
417	62.45	26041.65
348	56.71	19735.08
132	32	4224.00
317	125.24	39701.08
173	25.21	4361.33
271	45	12195.00
183	36.15	6615.45
470	205.89	96768.30
348	24.57	8550.36
<b>Total</b>		<b>284588.23</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86: Perdidas en costos de producción en Rodamientos

Elemento: Rodamiento		
TPR	Costo unitario S. /año	Costo total S. /año
181	64.83	11734.23
208	105.65	21975.20
197	62.45	12302.65
159	56.71	9016.89
57	32	1824.00
149	125.24	18660.76
72	25.21	1815.12
129	45	5805.00
68	36.15	2458.20
219	205.89	45089.91
157	24.57	3857.49
<b>Total</b>		<b>134539.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87: Perdidas en costos de producción en Ejes

Elemento: Eje		
TPR	Costo unitario S. /año	Costo total S. /año
39	64.83	2528.37
57	105.65	6022.05
83	62.45	5183.35
33	56.71	1871.43
17	32	544.00
73	125.24	9142.52
27	25.21	680.67
57	45	2565.00
29	36.15	1048.35
125	205.89	25736.25
79	24.57	1941.03
<b>Total</b>		<b>57263.02</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88: Perdidas en costos de producción en Fuentes de alimentación

Elemento: Fuente de alimentación		
----------------------------------	--	--

TPR	Costo unitario S. /año	Costo total S. /año
19	64.83	1231.77
37	105.65	3909.05
46	62.45	2872.70
17	56.71	964.07
20	32	640.00
76	125.24	9518.24
30	25.21	756.30
49	45	2205.00
32	36.15	1156.80
128	205.89	26353.92
81	24.57	1990.17
<b>Total</b>		<b>51598.02</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 89, se muestran los costos totales en pérdidas de producción por cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Tabla 89: Pérdidas de producción en los elementos de los M.E

<b>Elementos</b>	<b>Costos en pérdidas de producción (S./año)</b>
ESTATOR	161025.70
VENTILADOR	52669.62
ROTOR	284588.23
RODAMIENTOS	134539.45
EJE	57263.02
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	51598.02
	<b>741684.04</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28, se muestran los resultados de los costos de producción por cada elemento:

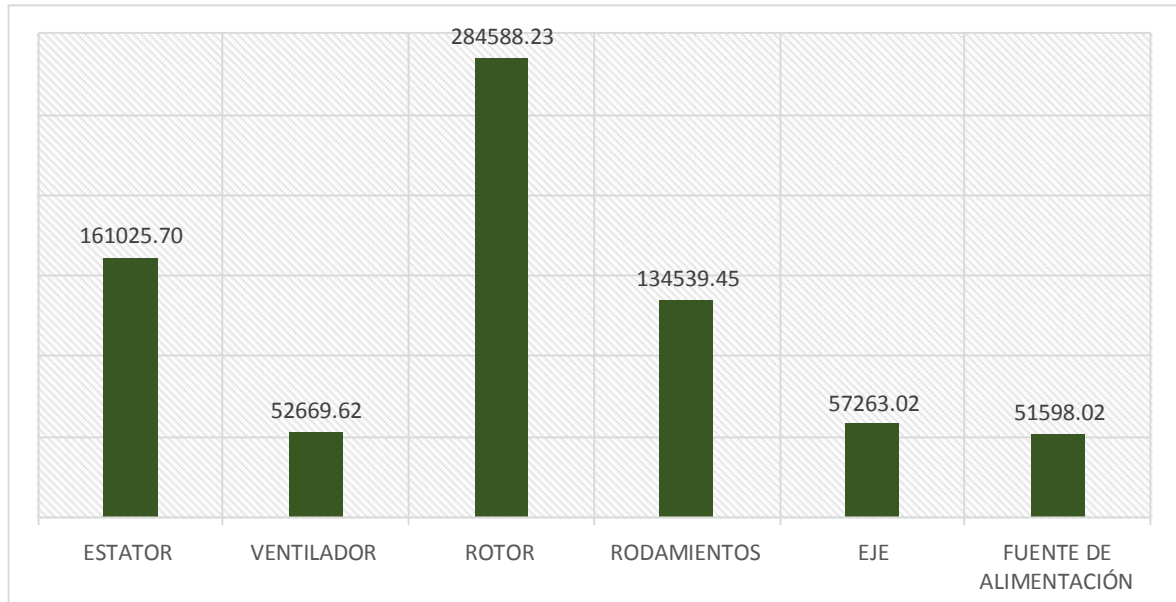


Figura 28: Costos en pérdidas de producción. Total: 741684.04 S. /año, Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3. Determinación de los costos en repuestos por cada elemento de los motores eléctricos.

Según se detalla en el anexo A.5, los costos en repuestos por cada elemento, son:

Tabla 90: Costos en repuestos por cada elemento de los M.E

Elementos	Costos en repuestos S. /año
ESTATOR	41667.64
VENTILADOR	20833.82
ROTOR	62501.46
RODAMIENTOS	31250.73
EJE	25000.59
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	4166.76
	<b>185421.00</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 29, se muestran los resultados de los costos de repuestos por cada elemento:

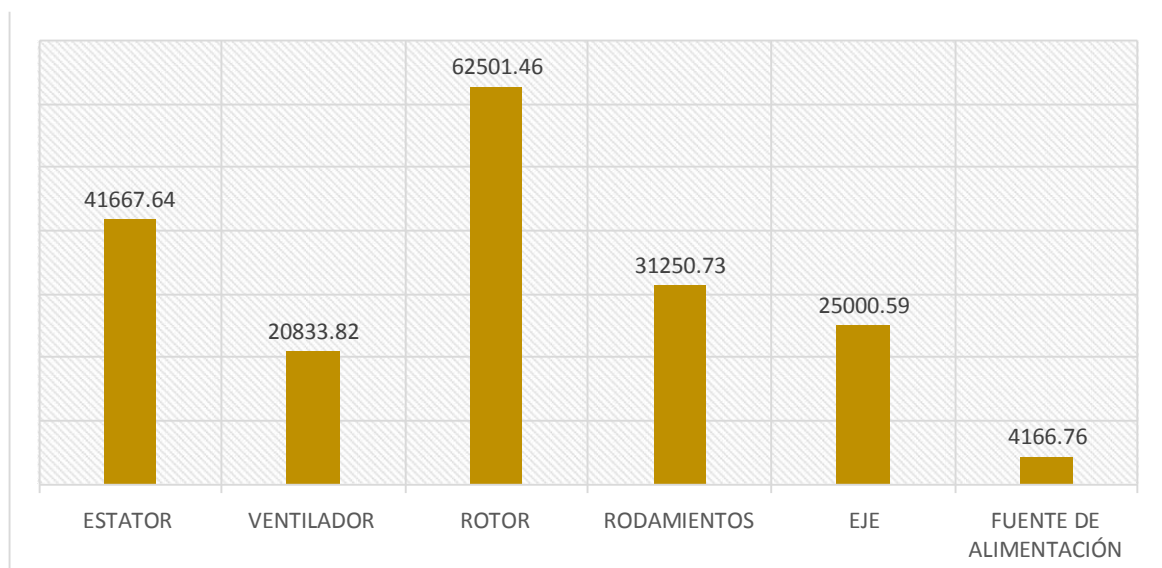


Figura 29: Costos en repuestos por elemento. Total: 185421S. /año, Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4. Determinación de los costos de mano de obra por cada elemento de los motores eléctricos.

Para determinar los costos de mano de obra por cada elemento de los motores asíncronos trifásicos, se procedió a estandarizar el costo unitario de mano de obra de los técnicos mecánicos y eléctricos de la empresa, el cual se promedia a 8.333 S. /hora.

Por lo tanto para determinar los costos totales de mano de obra por cada elemento se procedió a multiplicar el tiempo para reparar por el costo unitario de mano de obra. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 91: Costos en mano de obra de los elementos de los M.E

Elemento	TPR	Costo unitario S. /año	Costos en mano de obra S. /año
Estator	1894	8.333	15782.7
Ventilador	646	8.333	5383.118
Rotor	3425	8.333	28540.53
Rodamiento	1596	8.333	13299.47
Eje	619	8.333	5158.127
Fuente de alimentación	535	8.333	4458.155
			<b>72622.1</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30, se muestran los resultados de los costos de mano de obra por cada elemento:

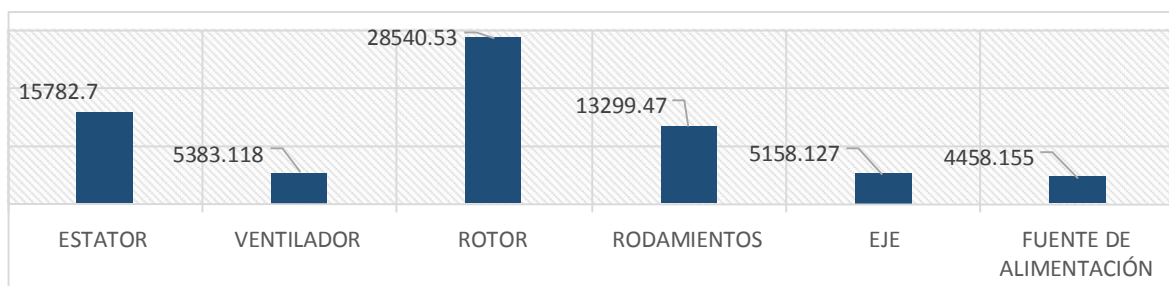


Figura 30: Costos en mano de obra por elemento. Total: 72622.1 S. /año, Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5. Determinación de los costos de mantenimiento por cada elemento de los motores eléctricos.



Para establecer los costos de mantenimiento, se debe proceder a sumar los costos de repuestos con los costos de mano de obra, tal como se detallan a continuación en la tabla

Tabla 92: Costos de mantenimiento de los elementos de los motores eléctricos

Elemento	Costos en repuestos S. /año	Costos en mano de obra S. /año	Costos de mantenimiento S. /año
Estator	41667.64	15782.7	57450.34
Ventilador	20833.82	5383.118	26216.94
Rotor	62501.46	28540.53	91041.99
Rodamiento	31250.73	13299.47	44550.20
Eje	25000.59	5158.127	30158.72
Fuente de alimentación	4166.76	4458.155	8624.92
			<b>258043.10</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 31, se muestran los resultados de los costos de mantenimiento por cada elemento:

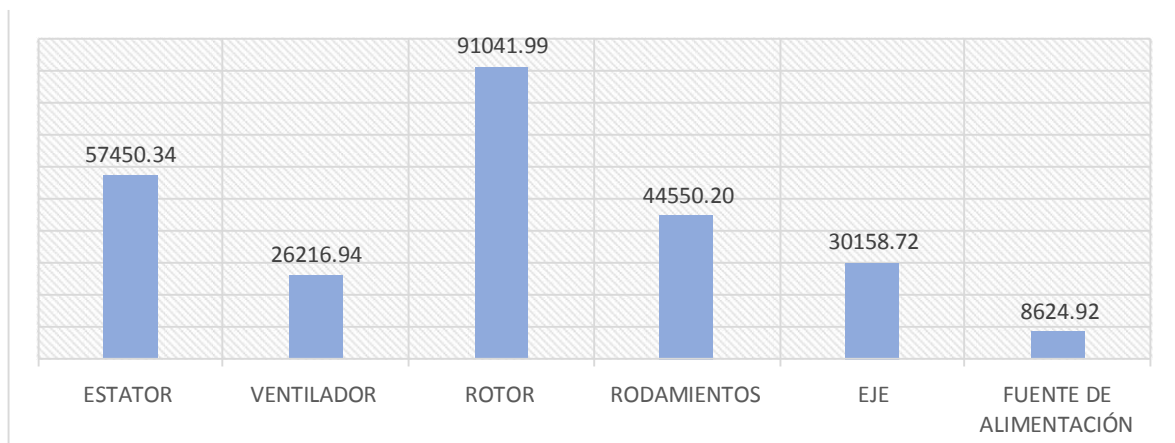


Figura 31: Costos en mantenimiento por elemento. Total: 258043.10 S. /año, Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.6. Establecer el tiempo promedio entre fallas por cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Para la evaluación de análisis de criticidad, es necesario establecer el tiempo promedio entre fallas TMEF para cada elemento, tal como se determinó para cada motor eléctrico.

Tabla 93: TMEF de elementos en el motor eléctrico de ventiladores de fideos

ELEMENTOS	M.E °1: MOTORES DE VENTILADORES DE FIDEOS				
	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	176	26	8395	8219	316.12
VENTILADOR	69	7	8395	8326	1189.43
ROTOR	356	54	8395	8039	148.87
RODAMIENTOS	181	23	8395	8214	357.13
EJE	39	17	8395	8356	491.53
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	19	9	8395	8376	930.67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94: TMEF de elementos en el motor eléctrico de elevador de cangilones

ELEMENTOS	M.E °2: MOTORES DE ELEVADOR CANGILONES				
	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	217	45	8395	8178	181.73
VENTILADOR	78	12	8395	8317	693.08
ROTOR	410	84	8395	7985	95.06
RODAMIENTOS	208	38	8395	8187	215.45
EJE	57	27	8395	8338	308.81
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	37	19	8395	8358	439.89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95: TMEF de elementos en el motor eléctrico de fajas transportadoras

ELEMENTOS	M.E °3: MOTORES DE FAJA TRANSPORTADORA				
	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	227	39	8030	7803	200.08
VENTILADOR	74	13	8030	7956	612.00
ROTOR	417	78	8030	7613	97.60
RODAMIENTOS	197	31	8030	7833	252.68
EJE	83	25	8030	7947	317.88
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	46	17	8030	7984	469.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96: TMEF de elementos en el motor eléctrico de tornillos compresores

ELEMENTOS	M.E °4: MOTORES DE TORNILLO COMPRESOR				
	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	168	40	8760	8592	214.80
VENTILADOR	64	10	8760	8696	869.60

ROTOR	348	72	8760	8412	116.83
RODAMIENTOS	159	27	8760	8601	318.56
EJE	33	26	8760	8727	335.65
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	17	19	8760	8743	460.16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97: TMEF de elementos en el motor eléctrico de carritos enfardelados

	M.E °5: MOTORES DE CARRITOS ENFARDELADO				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	72	15	8211	8139	542.60
VENTILADOR	30	3	8211	8181	2727.00
ROTOR	132	22	8211	8079	367.23
RODAMIENTOS	57	12	8211	8154	679.50
EJE	17	3	8211	8194	2731.33
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	20	3	8211	8191	2730.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98: TMEF de elementos en el motor eléctrico de tornillos prensas

	M.E °6: MOTORES DE TORNILLO DE PRENSA				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	184	16	8576	8392	524.50
VENTILADOR	58	3	8576	8518	2839.33
ROTOR	317	26	8576	8259	317.65
RODAMIENTOS	149	12	8576	8427	702.25
EJE	73	5	8576	8503	1700.60
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	76	9	8576	8500	944.44

Fuente: elaboración propia.

Tabla 99: TMEF de elementos en el motor eléctrico de bombas hidrométricas

	M.E °7: MOTORES DE BOMBAS HIDROMETRICA				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	92	12	8578	8486	707.17
VENTILADOR	35	1	8578	8543	8543.00
ROTOR	173	17	8578	8405	494.41
RODAMIENTOS	72	12	8578	8506	708.83
EJE	27	4	8578	8551	2137.75
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	30	6	8578	8548	1424.67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100: TMEF de elementos en el motor eléctrico de compresores frigoríficos

	M.E °8: MOTORES DE COMPRESORES FRIGORÍFICOS				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	168	26	7665	7497	288.35

VENTILADOR	54	5	7665	7611	1522.20
ROTOR	271	36	7665	7394	205.39
RODAMIENTOS	129	18	7665	7536	418.67
EJE	57	7	7665	7608	1086.86
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	49	9	7665	7616	846.22

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101: TMEF de elementos en el motor eléctrico de bombas de vacío

	M.E °9: MOTORES DE BOMBAS DE VACIO				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	90	21	7300	7210	343.33
VENTILADOR	36	3	7300	7264	2421.33
ROTOR	183	24	7300	7117	296.54
RODAMIENTOS	68	15	7300	7232	482.13
EJE	29	6	7300	7271	1211.83
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	32	6	7300	7268	1211.33

Tabla 102: TMEF de elementos en el motor eléctrico de molinitos de martillos

	M.E °10: MOTORES DE MOLINITO DE MARTILLOS				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	288	35	8760	8472	242.06
VENTILADOR	84	10	8760	8676	867.60
ROTOR	470	70	8760	8290	118.43
RODAMIENTOS	219	24	8760	8541	355.88
EJE	125	22	8760	8635	392.50
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	128	19	8760	8632	454.32

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103: TMEF de elementos en el motor eléctrico de reductores de velocidad

	M.E °11: MOTORES DE REDUCTORES DE VELOCIDAD				
ELEMENTOS	TPR	n	t	TEF	TMEF
ESTATOR	212	59	8554	8342	141.39
VENTILADOR	64	16	8554	8490	530.63
ROTOR	348	105	8554	8206	78.15
RODAMIENTOS	157	42	8554	8397	199.93
EJE	79	34	8554	8475	249.26
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	81	31	8554	8473	273.32

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 104, se muestran los resultados, respecto a los tiempos para reparar de cada elemento, según el tipo de activo y la selección del TMEF promedio para el análisis de criticidad

Tabla 104: TMEF promedio por cada elemento de los motores eléctricos trifásicos

ELEMENTOS	ME °1	ME °2	ME °3	ME °4	ME °5	ME °6	ME °7	ME °8	ME °9	ME °10	ME °11	TMEF(Total)
ESTATOR	316.12	181.73	200.08	214.80	542.60	524.50	707.17	288.35	343.33	242.06	141.39	3702.12
<b>% Estator</b>	<b>8.539%</b>	<b>4.909%</b>	<b>5.404%</b>	<b>5.802%</b>	<b>14.656%</b>	<b>14.168%</b>	<b>19.102%</b>	<b>7.789%</b>	<b>9.274%</b>	<b>6.538%</b>	<b>3.819%</b>	<b>100%</b>
VENTILADOR	1189.43	693.08	612.00	869.60	2727.00	2839.33	8543.00	1522.20	2421.33	867.60	530.63	22815.20
<b>% Ventilador</b>	<b>5.213%</b>	<b>3.038%</b>	<b>2.682%</b>	<b>3.811%</b>	<b>11.953%</b>	<b>12.445%</b>	<b>37.444%</b>	<b>6.672%</b>	<b>10.613%</b>	<b>3.803%</b>	<b>2.326%</b>	<b>100%</b>
ROTOR	148.87	95.06	97.60	116.83	367.23	317.65	494.41	205.39	296.54	118.43	78.15	2336.17
<b>% Rotor</b>	<b>6.372%</b>	<b>4.069%</b>	<b>4.178%</b>	<b>5.001%</b>	<b>15.719%</b>	<b>13.597%</b>	<b>21.163%</b>	<b>8.792%</b>	<b>12.693%</b>	<b>5.069%</b>	<b>3.345%</b>	<b>100%</b>
RODAMIENTO	357.13	215.45	252.68	318.56	679.50	702.25	708.83	418.67	482.13	355.88	199.93	4691.00
<b>% Rodamiento</b>	<b>7.613%</b>	<b>4.593%</b>	<b>5.386%</b>	<b>6.791%</b>	<b>14.485%</b>	<b>14.970%</b>	<b>15.111%</b>	<b>8.925%</b>	<b>10.278%</b>	<b>7.586%</b>	<b>4.262%</b>	<b>100%</b>
EJE	491.53	308.81	317.88	335.65	2731.33	1700.60	2137.75	1086.86	1211.83	392.50	249.26	10964.02
<b>% Eje</b>	<b>4.483%</b>	<b>2.817%</b>	<b>2.899%</b>	<b>3.061%</b>	<b>24.912%</b>	<b>15.511%</b>	<b>19.498%</b>	<b>9.913%</b>	<b>11.053%</b>	<b>3.580%</b>	<b>2.273%</b>	<b>100%</b>
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	930.67	439.89	469.65	460.16	2730.33	944.44	1424.67	846.22	1211.33	454.32	273.32	10185.00
<b>% Fuente de alimentación</b>	<b>9.138%</b>	<b>4.319%</b>	<b>4.611%</b>	<b>4.518%</b>	<b>26.807%</b>	<b>9.273%</b>	<b>13.988%</b>	<b>8.309%</b>	<b>11.893%</b>	<b>4.461%</b>	<b>2.684%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecido el TMEF por cada elemento, según el tipo de activo y el porcentaje correspondiente; se procede adaptar la tabla 08, a datos correspondientes del presente estudio. En la tabla 105, se muestra la adaptación de la tabla de ponderaciones de frecuencias.

Tabla 105: Evaluación de frecuencia de fallas de acuerdo a los elementos de los motores eléctricos

Ponderación	TMEF (Pre establecido)	TMEF (Matemáticamente)	TMEF (De acuerdo a los datos de los elementos de los motores asíncronos trifásicos)  Valor máximo matemático = Valor máximo (TMEF)  $1000X = 8543 \rightarrow X = 8.543$
5	$TMEF < 1$	$TMEF < X$	$TMEF < 8.543$
4	$1 \leq TMEF < 10$	$X \leq TMEF < 10X$	$8.543 \leq TMEF < 85.43$
3	$10 \leq TMEF < 100$	$10X \leq TMEF < 100X$	$85.43 \leq TMEF < 854.3$
2	$100 \leq TMEF < 1000$	$100X \leq TMEF < 1000X$	$854.3 \leq TMEF < 8543$
1	$TMEF \geq 1000$	$TMEF \geq 1000X$	$TMEF \geq 8543$

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.7. Determinación de la ponderación de frecuencia de fallas

Según los rangos establecidos en la tabla 105, se determina la ponderación general de cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Tabla 105: Tabla de ponderación de frecuencia de fallas

ELEMENTOS	PONDERACIONES UNITARIAS											Ponderación General de frecuencia
ESTATOR	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Frecuencia</b>	0.256	0.147	0.162	0.174	0.440	0.425	0.573	0.234	0.278	0.196	0.115	<b>3</b>
VENTILADOR	2	3	3	2	2	2	1	2	2	2	3	
<b>Frecuencia</b>	0.104	0.091	0.080	0.076	0.239	0.249	0.374	0.133	0.212	0.076	0.070	<b>2</b>
ROTOR	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	
<b>Frecuencia</b>	0.191	0.122	0.125	0.150	0.472	0.408	0.635	0.264	0.381	0.152	0.134	<b>3</b>
RODAMIENTO	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Frecuencia</b>	0.228	0.138	0.162	0.204	0.435	0.449	0.453	0.268	0.308	0.228	0.128	<b>3</b>
EJE	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	
<b>Frecuencia</b>	0.134	0.084	0.087	0.092	0.498	0.310	0.390	0.198	0.221	0.107	0.068	<b>2</b>
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	2	3	3	3	2	2	2	3	2	3	3	
<b>Frecuencia</b>	0.183	0.130	0.138	0.136	0.536	0.185	0.280	0.249	0.238	0.134	0.081	<b>2</b>

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para la primera fila y primera columna: Frecuencia =  $(3 \cdot 8.539\%) / 100 = 0.256$

### 3.3.8. Determinación de la ponderación de los costos de producción

Tabla 106. Evaluación de los costos de producción de acuerdo a los elementos de los motores eléctricos.

Ponderación	Perdida de Producción con respecto a las horas pérdidas (S./año) (Pre establecido)	Perdida de Producción con respecto a las horas pérdidas (S./año) (Matemáticamente)	Perdida de Producción con respecto a las horas pérdidas (S./año)  (De acuerdo a los datos de los elementos de los motores asíncronos trifásicos)  Valor máximo matemático = Valor máximo (Costos Producción)  $100X = 284588.23 \rightarrow X = 2845.8823$
5	Mayor de 50 000	Mayor de 100X	Mayor de 284588.23
4	De 15 000 a 50 000	De 30X a 100X	De 85376.469 a 284588.23
3	De 5 000 a 15 000	De 10X a 30X	De 28458.823 a 85376.469
2	De 500 a 5 000	De X a 10X	De 2845.8823 a 28458.823
1	Hasta 500	Hasta X	Hasta 2845.8823



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 107, se detallan las ponderaciones con respecto a los costos de producción de cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Tabla 107: Ponderación de los costos de producción

<b>ELEMENTOS</b>	<b>Costos de producción S. /año</b>	<b>Ponderación de costos de producción</b>
ESTATOR	161025.70	4
VENTILADOR	52669.62	3
ROTOR	284588.23	5
RODAMIENTO	134539.45	4
EJE	57263.02	3
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	51598.02	3

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.9. Determinación de la ponderación de los costos de mantenimiento

Tabla 108: Evaluación de los costos de mantenimiento de acuerdo a los elementos de los motores eléctricos

Ponderación	Perdida en costos de mantenimiento (S./año) (Pre-establecido)	Perdida en costos de mantenimiento (S./año) (Matemáticamente)	Perdida en costos de mantenimiento (S./año) (De acuerdo a los datos de los elementos de los motores asíncronos trifásicos)  Valor máximo matemático = Valor máximo (Costos Mtto)  $100X = 91041.99 \rightarrow X = 910.4199$
5	Mayor de 50 000	Mayor de 100X	Mayor de 91041.99
4	De 15 000 a 50 000	De 30X a 100X	De 27312.597 a 91041.99
3	De 5 000 a 15 000	De 10X a 30X	De 9104.199 a 27312.597

2	De 500 a 5 000	De X a 10X	De 910.4199 a 9104.199
1	Hasta 500	Hasta X	Hasta 910.4199

Fuente: Elaboración propia.

### Tabla 108: Evaluación de los costos de mantenimiento de acuerdo a los elementos de los motores eléctricos

En la tabla 109, se detallan las ponderaciones con respecto a los costos de mantenimiento de cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Tabla 109: Ponderación de los costos de mantenimiento

ELEMENTOS	Costos de mantenimiento S. /año	Ponderación de costos de producción
ESTATOR	57450.34	4
VENTILADOR	26216.94	3
ROTOR	91041.99	5
RODAMIENTO	44550.20	4
EJE	30158.72	4
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	8624.92	2

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.10. Determinación de las ponderaciones respecto al personal de mantenimiento, población e impacto ambiental.

Tabla 110: Evaluación de acuerdo al impacto personal, población y ambiental en elementos de los motores eléctricos

Ponderación	Impacto personal de mantenimiento	Impacto en la población	Impacto Ambiental
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regulaciones, la restauración puede ser acumulada.
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes regulaciones.
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 111, se detallan las ponderaciones con respecto a la ponderación del personal, población y medio ambiente de cada elemento de los motores asíncronos trifásicos

Tabla 111: Ponderación de los impactos de personal de mantenimiento, población y medio ambiente

<b>ELEMENTOS</b>	<b>Impacto personal de mantenimiento</b>	<b>Impacto en la población</b>	<b>Impacto Ambiental</b>
ESTATOR	1	1	1
VENTILADOR	1	1	1
ROTOR	1	1	1
RODAMIENTO	1	1	1
EJE	1	1	1
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 112, se muestran los resultados del análisis de criticidad realizado a los elementos de los motores eléctricos

Tabla 112: Resultados del análisis de criticidad

N°	ELEMENTOS	I. F.F	I.C.P	I.C.M	I.P.M	I.P	I.A	Consecuencia	Valor Critico	Clasificación
1	ESTATOR	3	4	4	1	1	1	16	48	SEMICRITICO
2	VENTILADOR	2	3	3	1	1	1	9	18	NO CRITICO
3	ROTOR	3	5	5	1	1	1	25	75	CRITICO
4	RODAMIENTOS	3	4	4	1	1	1	16	48	SEMICRITICO
5	EJE	2	3	4	1	1	1	12	24	NO CRITICO
6	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	2	3	2	1	1	1	6	12	NO CRITICO

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 32, se detalla el valor crítico y la clasificación de cada elemento de los motores eléctricos

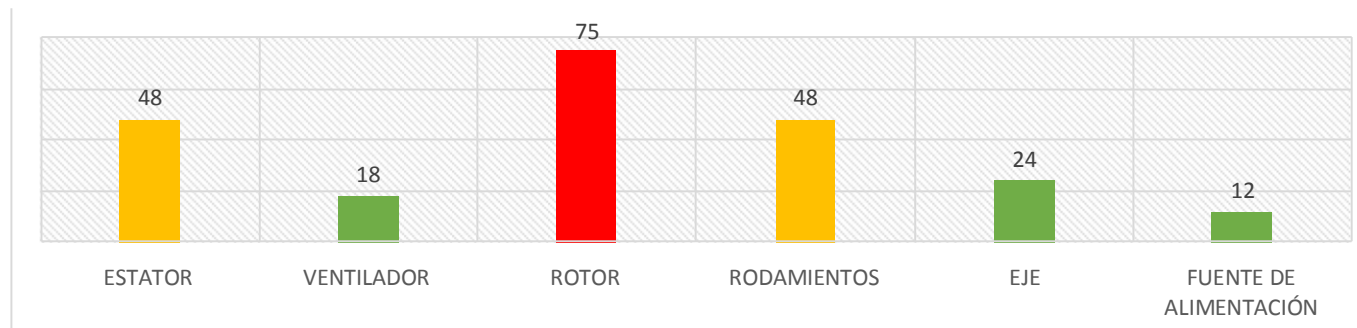


Figura 32: Valores de criticidad por cada elemento de los motores eléctricos, Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Desarrollo de los AMEF (Análisis Modos y Efectos de fallo) en los sistemas activos críticos y semicríticos de los motores asíncronos trifásicos para el diseño de un plan RCM

#### 3.4.1. Hojas de información de los elementos de los motores eléctricos a)

Estator:

<b>HOJA DE INFORMACIÓN</b>	<b>Empresa:</b> Cogorno SA	<b>Realizado Por:</b> Wilmer Francisco Idrogo Cruzado		<b>Fecha:</b> 05/06/2016
	<b>Sistema:</b> Eléctrico	<b>Tipo de Motor:</b> Asíncrono Trifásico		<b>Hojas:</b> 2
<b>Elemento</b>	<b>Función (F)</b>	<b>Modo de Falla (MF)</b>	<b>Causas de Falla (CF)</b>	

Estator	1. Constituye la parte fija del motor. El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente.	A. Sobrecalentamiento en los bobinados	1. Ventiladores con sentido de rotación invertido
			2. Sobrecarga
			3. Tensión muy alta, consecuentemente, las perdidas en el hierro son muy altas.
			4. Tensión muy alta debido al incremento de la corriente
			5. Sentido de rotación no compatible con el ventilador utilizado
		B. Cortocircuito en el enrollamiento del estator	1. Fuente de alimentación defectuosa
			2. Bobina de retención del contactor magnético defectuosa
			3. Circuito abierto en el tablero de control
			4. Terminales mal conectadas
Estator		C. Tensión de fase desbalanceada	1. El rotor está bloqueado
			2. Al menos dos cables de alimentación están interrumpidos, sin tensión.
			3. Problemas en las escobillas
		D. Arranques cíclicos	1. Torque de carga muy elevado durante el arranque
			2. Caída de tensión muy alta en los cables de alimentación
			3. Rotor con barras falladas o interrumpidas
			4. Tensión de alimentación muy baja

Fuente: Elaboración propia.



**b) Rotor**

<b>HOJA DE INFORMACIÓN</b>	<b>Empresa:</b> Cogorno SA	<b>Realizado Por:</b> Wilmer Francisco Idrogo Cruzado		<b>Fecha:</b> 05/06/2016
	<b>Sistema:</b> Eléctrico	<b>Tipo de Motor:</b> Asíncrono Trifásico		<b>Hojas:</b> 2
<b>Elemento</b>	<b>Función (F)</b>	<b>Modo de Falla (MF)</b>	<b>Causas de Falla (CF)</b>	
Rotor	2. Constituye la parte móvil del motor. El rotor es el elemento de	A. Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	1. Cables mal dimensionados entre el motor y el reóstato	
			2. Circuito abierto en los bobinados del rotor	
			3. Suciedad entre la escoba y la anilla colectora	

transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica.		4. Tensión muy alta debido al incremento de la corriente
		5. Escobas presas en el alojamiento
		6. Presión incorrecta sobre las escobas
		7. Escobas mal asentadas
		1. Oxidación en la jaula, pequeños pedazos de metal en la grasa, formación de fallas en las pistas debido a la deficiencia de la grasa, eventualmente ajuste del rodamiento inadecuado
	B. Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	2. Rodamiento fue montado en una posición mala
		3. Rodamiento dañados
		4. Corto circuito entre espiras
		5. Interrupción de alambres paralelos o fases de las bobinas del estator.
2. Problemas en las escobas		
3. Tensión de conexión muy elevada		
4. Causas mecánicas		
5. Causas eléctricas		
D. Arranques frecuentes del motor	1. Sobrecarga	
	2. La entrada o salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida.	
	3. Tensión descompensada	
	4. Bobinas abiertas en el estator	
	5. Baja / Sobre tensión	

			6. Tierra
			7. Conexiones equivocadas
		E. Irregularidades en el entrehierro	1. Rodamientos de empuje desgastados
			2. La condición de trabajo no coinciden con los datos de la plaqueta de identificación
			3. Desequilibrio en la alimentación (fusible quemado, comando errado)
		F. Ventilación insuficiente	1. Fuerza axial muy grande
			2. Refrigeración insuficiente debido a los canales de aire sucios

Fuente: Elaboración propia.

### C) Rodamiento

<b>HOJA DE INFORMACIÓN</b>	<b>Empresa:</b> Cogorno SA	<b>Realizado Por:</b> Wilmer Francisco Idrogo Cruzado		<b>Fecha:</b> 05/06/2016
	<b>Sistema:</b> Mecánico	<b>Tipo de Motor:</b> Asíncrono Trifásico		<b>Hojas:</b> 1
<b>Elemento</b>	<b>Función (F)</b>	<b>Modo de Falla (MF)</b>	<b>Causas de Falla (CF)</b>	

Rodamiento	3. Elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste por medio de rodadura, que le sirve de apoyo y facilita su desplazamiento.	A. Altas vibraciones	1. Grasa en exagero
			2. Excesivo esfuerzo axial o radial
			3. Eje torcido/vibración excesiva.
			4. Falta de grasa
		B. Lubricación deficiente	1. Grasa endurecida ocasionando trabamieto de las esferas
			2. Materia extraña en la grasa
			3. La entrada o salida del aire de ventilación está tapada o parcialmente obstruida
		C. Cojinetes desgastados	1. Vibraciones externas, principalmente cuando el motor está parado por un largo tiempo
			2. Rodamiento fue montado en una posición mala

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. Hojas de decisiones para los elementos de los motores eléctricos

#### a) Estator:

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1		H2	H3	Tareas "a" falta de"			Tareas Propuestas	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizar por
F	MF	CF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							

1	A	1	S	N	N	N	N		N	N	N	N	N	Analizar el ventilador en función del sentido de giro del motor.	1d	Electricista
1	A	2	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Medir la corriente del estator y disminuir la carga	1d	Electricista
1	A	3	S	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar: No exceder en 110% la tensión nominal	1s	Electricista
1	A	4	S	S	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar la tensión de alimentación y la caída de tensión en el motor	1d	Electricista
1	A	5	S	N	N	N	N		N	N	N	N	N	Verificar el ventilador en función del sentido de rotación del motor	1d	Electricista
1	B	1	N	S	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar la tensión en todas las fases, antes del interruptor de seguridad	1d	Electricista
1	B	2	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar la tensión en la bobina de retención magnética	1d	Electricista
1	B	3	N	S	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar la tensión en T1, T2 y T3	1s	Electricista
1	B	4	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar la numeración y conexión de terminales	1s	Electricista
1	C	1	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar los cables de conexión	1s	Electricista
1	C	2	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar el tablero de comando, los cables de conexión y los bornes	1d	Electricista
1	C	3	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Inspeccionar las escobas puede estar gastadas, sucias o colocadas incorrectamente.	1m	Electricista
1	D	1	S	N	N	S	N		N	N	N	N	N	No aplicar carga en la máquina accionada durante la partida	1d	Electricista
1	D	2	S	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar el cálculo de la instalación (transformador, grosor de los cables, verificar rieles y disyuntores)	1m	Electricista

1	D	3	N	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Verificar y arreglar las bobinas del rotor (jaula y bobinado), hacer test dispositivo de cortocircuito.	1m	Electricista
1	D	4	S	N	N	S	N		N	N	N	N	N	Medir la tensión de alimentación, ajustar el valor correcto	1d	Electricista

Fuente: Elaboración propia.

## b) Rotor:

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a" falta de"			Tareas Propuestas	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana , d=día)	A realizar por
F	MF	CF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						
2	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar: Redimensionar los cables	1m	Electricista
2	A	2	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Hacer un test de continuidad	1m	Electricista
2	A	3	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar las anillas colectoras y el conjunto aislante	2s	Electricista
2	A	4	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la movilidad de las escobas en los alojamientos	1s	Electricista
2	A	5	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la presión sobre cada escoba y corregir, si es necesario	2m	Electricista
2	A	6	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar, lijar y pulir o torneear, cuando necesario	1m	Electricista
2	A	7	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Asentar correctamente las escobas	3m	Electricista
2	B	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Hacer limpieza y reemplazar o substituir el rodamiento	6m	Electricista
2	B	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Recuperar el asiento en el eje y substituir el rodamiento	1m	Electricista
2	B	3	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Substituya el rodamiento	6m	Electricista
2	B	4	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar: Reembobinar	1m	Electricista
2	B	5	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar: Rehacer la conexión	1m	Electricista
2	C	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar y arreglar la bobina del rotor y dispositivo de corto circuito	2m	Electricista
2	C	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verifique las escobas pueden estar gastadas, sucias	1m	Electricista
2	C	3	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Medir tensión de conexión y ajustarle al valor correcto	1d	Electricista
2	C	4	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar: La caída de rotación del motor	1d	Electricista
2	C	5	N	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar: El ruido desaparece al desconectarse el motor	1d	Electricista

2	D	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Medir la carga y comparar con el régimen en la placa	1m	Electricista
2	D	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Limpiar las rejillas o los filtros si el motor dispone de ellos	2m	Electricista
2	D	3	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la tensión en todas las fases	1d	Electricista
2	D	4	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la resistencia del estator en las tres fases	1m	Electricista
2	D	5	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la tensión y comparar con la indicada en la placa	1m	Electricista
2	D	6	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Localizar con un probador de aislamiento y reparar	2s	Electricista
2	D	7	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Revisar las conexiones	1d	Electricista
2	E	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar el entrehierro, condiciones de funcionamiento	1s	Electricista
2	E	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar si hay desequilibrio de las tensiones o funcionamiento con dos fases y corregir	1d	Electricista
2	E	3	S	S	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la deformación del eje o el desgaste de los rodamientos	1m	Electricista
2	F	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Examinar las relaciones de accionamiento y acoplamiento	1m	Electricista
2	F	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Abrir y limpiar los canales de pasaje de aire	2s	Electricista

Fuente: Elaboración propia.

### C) Rodamientos

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a" falta de"			Tareas Propuestas	Intervalo inicial (a=año, m=mes, s=semana , d=día)	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	MF	CF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
N1	N2	N3													
3	A	1	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Retirar el tapón de escape de la grasa y dejar el motor funcionando hasta que se vea salir el exceso de la grasa	1m	Electricista
3	A	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar y de ser necesario disminuir el esfuerzo	1d	Electricista
3	A	3	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Corregir el eje y verificar el balanceamiento del rotor. Verificar el origen de la vibración y corregir	1s	Electricista
3	A	4	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Aumentar grasa en el rodamiento	1s	Electricista
3	B	1	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Substituir los rodamientos	6m	Electricista
3	B	2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Lavar los rodamientos y lubricar	1m	Electricista
3	B	3	S	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeccionar: Recuperar el asiento en el eje y substituir el rodamiento	1m	Electricista
3	C	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Reapretar y trabar los tornillos	2s	Electricista
3	C	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Verificar la alineación entre ejes (motor – máquina de accionamiento)	1s	Electricista

Fuente: Elaboración propia.



### 3.4.3. Determinación del número de prioridad de riesgos

Este procedimiento, se basará en lo escrito en las hojas de información y decisiones, para establecer que fallas son inaceptables, reducibles a deseables y aceptables.

Tabla 113: Evaluación del número de prioridad de riesgo a los modos de falla de los elementos críticos y semicríticos

MODOS DE FALLAS GENERALES EN LOS MOTORES ELÉCTRICOS	INDICES DE RIESGO			NPR	TIPO DE FALLA
	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	$G \cdot O \cdot D$	
<b>MODOS DE FALLA EN EVALUACIÓN: 13</b>					
Sobrecalentamiento en los bobinados	8	8	8	512	INACEPTABLE
Cortocircuito en el enrollamiento del estator	7	6	7	294	INACEPTABLE
Tensión de fase desbalanceada	5	4	5	100	ACEPTABLE
Arranques cíclicos	6	5	6	180	REDUCIBLE A DESEABLE
Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	8	7	7	392	INACEPTABLE
Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	10	9	9	810	INACEPTABLE
Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	7	8	8	448	INACEPTABLE
Arranques frecuentes del motor	7	7	8	392	INACEPTABLE
Irregularidades en el entrehierro	8	7	7	392	INACEPTABLE
Ventilación insuficiente	6	6	6	216	INACEPTABLE
Altas vibraciones	7	7	6	294	INACEPTABLE
Lubricación deficiente	7	5	4	140	REDUCIBLE A DESEABLE

Cojinetes desgastados	7	4	6	168	REDUCIBLE A DESEABLE
-----------------------	---	---	---	-----	----------------------

Fuente: Elaboración propia.

Comentario: se obtuvieron 9 Fallas inacceptables, 3 reducibles a deseables y 1 aceptable.

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco

En la tabla 114, La reducción de las fallas inaceptables con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), se compone del 69 % que son calculadas a través del número de prioridad de riesgo (NPR) a los elementos críticos y semicríticos de los motores asíncronos trifásicos detectando las fallas inaceptables.

<b>Tipo de falla.</b>	<b>Cantidad según el tipo de falla.</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Inaceptable	9	69 %
Reducible o aceptable	3	23%
Aceptable	1	8%
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>100%</b>

Tabla N° 114 Tabla de especificación de porcentajes del NPR.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33, se muestran los porcentajes correspondientes a los tipos de fallas.

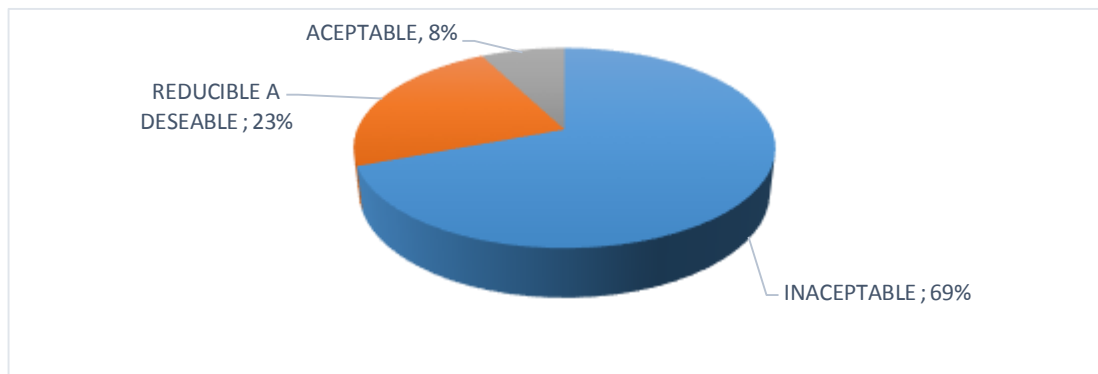


Figura 33: Porcentajes del NPR con respecto a los modos de fallas, Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Elaboración de un programa de actividades para el mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a elementos críticos y semicríticos

FRECUENCIA DEL MANTENIMIENTO	ELEMENTOS CRÍTICOS Y SEMICRÍTICOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS	
TAREA	ROTOR JAULA ARDILLA/BOBINADO	
MENSUAL	Inspeccionar: Redimensionar los cables	
MENSUAL	Hacer un test de continuidad	
2 SEMANAS	Limpiar las anillas colectoras y el conjunto aislante	
SEMANAL	Verificar la movilidad de las escobas en los alojamientos	
2 MESES	Verificar la presión sobre cada escoba y corregir, si es necesario	
MENSUAL	Limpiar, lijar y pulir o torneear, cuando necesario	
3 MESES	Asentar correctamente las escobas	
6 MESES	Hacer limpieza y reemplazar o substituir el rodamiento	
MENSUAL	Recuperar el asiento en el eje y substituir el rodamiento	
6 MESES	Substituya el rodamiento	
MENSUAL	Verificar: Reembobinar	
MENSUAL	Inspeccionar: Rehacer la conexión	
2 MESES	Verificar y arreglar la bobina del rotor y dispositivo de corto circuito	
MENSUAL	Verifique las escobas pueden estar gastadas, sucias	NIVEL CRÍTICO
DIARIO	Medir la tensión de conexión y ajustarle al valor correcto	
DIARIO	Inspeccionar: La caída de rotación del motor	
DIARIO	Inspeccionar: El ruido desaparece al desconectarse el motor	
MENSUAL	Medir la carga y comparar con el régimen en la placa	
2 MESES	Limpiar las rejillas o los filtros si el motor dispone de ellos	
DIARIO	Verificar la tensión en todas las fases	
MENSUAL	Verificar la resistencia del estator en las tres fases	
MENSUAL	Verificar la tensión y comparar con la indicada en la placa	
2 SEMANAS	Localizar con un probador de aislamiento y reparar	
DIARIO	Revisar las conexiones	
SEMANAL	Verificar el entrehierro, condiciones de funcionamiento	
DIARIO	Verificar si hay desequilibrio de las tensiones o funcionamiento con dos fases y corregir	
MENSUAL	Verificar la deformación del eje o el desgaste de los rodamientos	
MENSUAL	Examinar las relaciones de accionamiento y acoplamiento	
2 SEMANAS	Abrir y limpiar los canales de pasaje de aire	
TAREA	ESTATOR	
DIARIO	Analizar el ventilador en función del sentido de giro del motor.	
DIARIO	Medir la corriente del estator y disminuir la carga	
SEMANAL	Verificar: No exceder en 110% la tensión nominal	
DIARIO	Verificar la tensión de alimentación y la caída de tensión en el motor	
DIARIO	Verificar el ventilador en función del sentido de rotación del motor	
DIARIO	Verificar la tensión en todas las fases, antes del interruptor de seguridad	
DIARIO	Verificar la tensión en la bobina de retención magnética	
SEMANAL	Verificar la tensión en T1, T2 y T3	
SEMANAL	Verificar la numeración y conexión de terminales	
SEMANAL	Verificar los cables de conexión	NIVEL SEMICRÍTICO
DIARIO	Verificar el tablero de comando, los cables de conexión y los bornes	
MENSUAL	Inspeccionar las escobas puede estar gastadas, sucias o colocadas incorrectamente.	
DIARIO	No aplicar carga en la máquina accionada durante la partida	
MENSUAL	Verificar el cálculo de la instalación (transformador, grosor de los cables, verificar rieles y disyuntores)	
MENSUAL	Verificar y arreglar las bobinas del rotor (jaula y bobinado), hacer test dispositivo de cortocircuito.	
DIARIO	Medir la tensión de alimentación, ajustar el valor correcto	
TAREA	RODAMIENTOS	
MENSUAL	Retirar el tapón de escape de la grasa y dejar el motor funcionando hasta que se vea salir el exceso de la grasa	
DIARIO	Inspeccionar y de ser necesario disminuir el esfuerzo	
SEMANAL	Corregir el eje y verificar el balanceamiento del rotor. Verificar el origen de la vibración y corregir	
SEMANAL	Aumentar grasa en el rodamiento	NIVEL SEMICRÍTICO
6 MESES	Substituir los rodamientos	
MENSUAL	Lavar los rodamientos y lubricar	
MENSUAL	Inspeccionar: Recuperar el asiento en el eje y substituir el rodamiento	
2 SEMANAS	Reapretar y trabar los tornillos	
SEMANAL	Verificar la alineación entre ejes (motor – máquina de accionamiento)	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Determinación la reducción de los costos de producción y mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos con la aplicación del plan RCM.

Este procedimiento corresponde a la reducción del tiempo para reparar solo de las fallas inaceptables, comprendidas dentro de un estudio de RCM.

Tabla 115: Reducción de las pérdidas de producción en los elementos de los M.E

<b>Elementos</b>	<b>Costos en pérdidas de producción (S./año) (Actual)</b>	<b>Porcentaje de reducción</b>	<b>Reducción en pérdidas de producción (S./año) (RCM)</b>
ESTATOR	161025.70	69%	111107.733
VENTILADOR	52669.62	0%	0
ROTOR	284588.23	69%	196365.8787
RODAMIENTOS	134539.45	69%	92832.2205
EJE	57263.02	0%	0
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	51598.02	0%	0
	<b>741684.04</b>		<b>400305.83</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 116: Reducción en las pérdidas de los costos de mantenimiento de los elementos de los M.E

<b>Elemento</b>	<b>Costos de mantenimiento S. /año (Actual)</b>	<b>Porcentaje de reducción</b>	<b>Reducción en pérdidas de mantenimiento (S./año) (RCM)</b>
Estator	57450.34	69%	39640.7346
Ventilador	26216.94	0%	0
Rotor	91041.99	69%	62818.9731
Rodamiento	44550.20	69%	30739.638
Eje	30158.72	0%	0
Fuente de alimentación	8624.92	0%	0
	<b>258043.10</b>		<b>133199.35</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 117, se detallan los costos totales en condiciones actuales y de mejora con la aplicación del RCM. Los costos totales son la suma de los costos de mantenimiento y costos de producción.

Tabla 116: Costos totales actuales y en mejora

<b>Costos totales de los M.E S. /año (Actual)</b>	<b>Beneficio con la aplicación del RCM</b>	<b>Costos totales de los M.E S. /año (Mejora)</b>
999727.14	533505.18	466221.96

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Estimación de los indicadores de mantenimiento en condiciones de mejora

Para la estimación de los indicadores de mantenimiento, primero se debe establecer, los nuevos valores del TPR, TEF y n.

Estimando que el RCM reducirá los problemas generales en un 69%, perdiéndose en condiciones de mejora 31% Tabla 118: TPR, TEF y n en condiciones actuales y de mejora

TIPO DE ACTIVO	TRP (ACTUAL)	TRP (MEJORA 31%)	AHORRO TPR	TEF (ACTUAL)	TEF (MEJORA)	n (ACTUAL)	n (MEJORA 31%)
Motores de ventiladores de fideos	840.00	260.4	579.60	7555.00	8134.60	136	42
Motores de elevador cangilones	1007.00	312.17	694.83	7388.00	8082.83	225	70
Motores de faja transportadora	1044.00	323.64	720.36	6986.00	7706.36	203	63
Motores de tornillo compresor	789.00	244.59	544.41	7971.00	8515.41	194	60
Motores de carritos enfardelado	328.00	101.68	226.32	7883.00	8109.32	58	18
Motores de tornillo de prensa	857.00	265.67	591.33	7719.00	8310.33	71	22
Motores de bombas hidrométrica	429.00	132.99	296.01	8149.00	8445.01	52	16
Motores de compresores frigoríficos	728.00	225.68	502.32	6937.00	7439.32	101	31
Motores de bombas de vacío	438.00	135.78	302.22	6862.00	7164.22	75	23
Motores de molinito de martillos	1314.00	407.34	906.66	7446.00	8352.66	180	56
Motores de reductores de velocidad	941.00	291.71	649.29	7613.00	8262.29	287	89
	<b>8715.00</b>	<b>2701.65</b>	<b>6013.35</b>	<b>82509.00</b>	<b>88522.35</b>	<b>1582</b>	<b>490</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 119: Indicadores de mantenimiento en condiciones de mejora

TIPO DE ACTIVO	TMPR (horas reparación/falla)	TMEF (horas útiles/falla)	$\lambda$ (fallas/horas útiles)	$\mu$ (fallas/horas de reparación)	Disponibilidad (%)	Confiabilidad (%)	Mantenibilidad (%)
MOTORES DE VENTILADORES DE FIDEOS	6.176	192.946	0.005	0.162	96.90%	97.47%	6.45%
MOTORES DE ELEVADOR CANGILONES	4.476	115.883	0.009	0.223	96.28%	97.35%	5.62%
MOTORES DE FAJA TRANSPORTADORA	5.143	122.459	0.008	0.194	95.97%	96.61%	6.62%
MOTORES DE TORNILLO COMPRESOR	4.067	141.593	0.007	0.246	97.21%	98.02%	5.63%
MOTORES DE CARRITOS ENFARDELADO	5.655	451.019	0.002	0.177	98.76%	98.00%	12.58%
MOTORES DE TORNILLO DE PRENSA	12.070	377.571	0.003	0.083	96.90%	97.20%	7.13%
MOTORES DE BOMBAS HIDROMETRICA	8.250	523.884	0.002	0.121	98.45%	97.31%	13.45%
MOTORES DE COMPRESORES FRIGORÍFICOS	7.208	237.602	0.004	0.139	97.06%	93.75%	16.24%
MOTORES DE BOMBAS DE VACIO	5.840	308.138	0.003	0.171	98.14%	94.25%	22.93%
MOTORES DE MOLINITO DE MARTILLOS	7.300	149.689	0.007	0.137	95.35%	94.32%	9.52%



MOTORES DE REDUCTORES DE VELOCIDAD	3.279	92.866	0.011	0.305	96.59%	98.14%	4.34%
<b>VALORES GLOBALES</b>	<b>5.509</b>	<b>180.503</b>	<b>0.006</b>	<b>0.182</b>	<b>97.04%</b>	<b>97.31%</b>	<b>7.19%</b>

Fuente: Elaboración propia.

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado  
en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa  
Cogorno S.A Trujillo

106

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco

En la figura 34: Se muestran las condiciones actuales y de mejora de los indicadores globales de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A

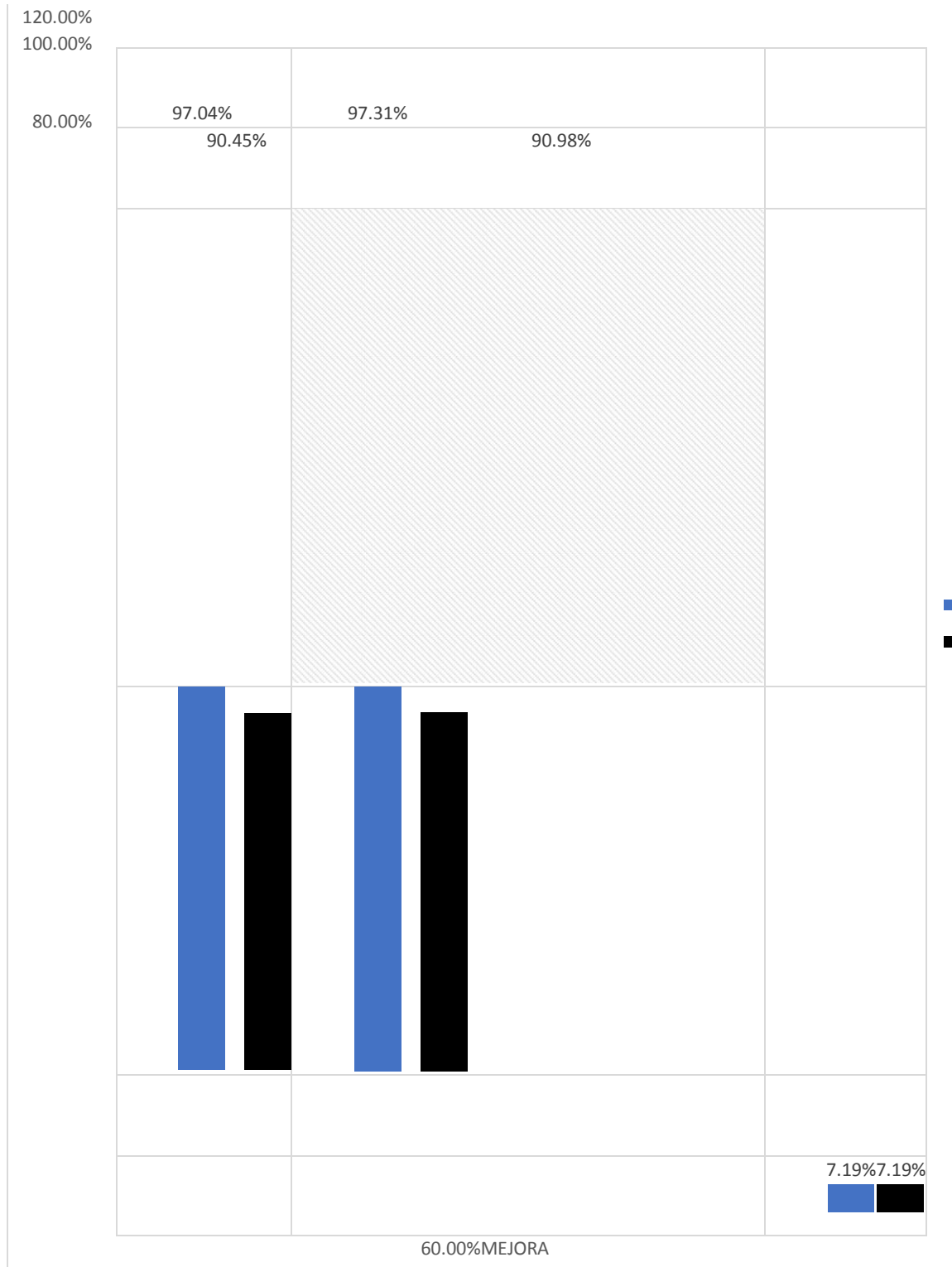




Figura 34: Comparación de los indicadores de mantenimiento globales, Fuente: Elaboración propia.

## IV. DISCUSIÓN

4.1. En el estudio de Vásquez (2008), “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en motores Detroit 16V-149TI en Codelco División Andina”, aplica criterios del AMEF basándose en la elaboración de hojas de información y hojas de decisión, agrupando las fallas en sistemas de los motores ya que poseían

las mismas características, esto permitiendo aumentar la disponibilidad hasta un 98% con un tiempo promedio de reparación de 3.084 horas reparación/falla. En similitud a la presente tesis, se empleó la misma metodología, pero con la diferencia que los motores no se agruparon en sistemas, si no en elementos tales como: estator, ventilador, rotor, rodamiento, eje y fuente de alimentación, permitiendo aumentar la disponibilidad a 97.04 % con un tiempo promedio de reparación de 5.509 horas reparación/falla.

4.2. En el estudio de Aguilar & Camacho (2008), “Influencia del diseño e implementación de un plan mantenimiento centrado en la confiabilidad en la reducción, control de fallas y optimización de costos en el área de elaboración de azúcar en el complejo agroindustrial Cartavio S.A.A.”, implemento un plan RCM reduciendo en un 45% las fallas inaceptables a través del análisis de los índices de riesgo: gravedad, ocurrencia y detención. Este mismo análisis se utilizó en la presente tesis para determinar los diferentes modos de falla, como: inaceptables, reducibles a deseables y aceptables; logrando reducir el 69% de fallas inaceptables.

4.3. En el estudio de Caltenco (2008), “Criterios de ingeniería aplicables en la selección óptima de motores trifásicos de inducción tipo jaula ardilla”, establecen que para evaluar las condiciones críticas de un motor eléctrico estas se deben basar en 6 aspectos, tales como: frecuencia de fallas, costos de producción, costos de mantenimiento, seguridad al personal de mantenimiento, seguridad a la población y medio ambiente. En comparación con el presente estudio, se aplicaron los mismos criterios de evaluación a cada elemento de los motores eléctricos, resultando como elemento crítico el rotor y semicríticos: Estator y rodamientos.

4.4. En el estudio de Lugo, Mendoza y Rales (2001), “Administración del mantenimiento preventivo a motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico Distrito Poza Rica, para incrementar la producción”, estableció que para evaluar un

conjunto de fallas de una cierta maquina es necesario que el mantenimiento preventivo, se base en la metodología AMEF, logrando reducir en un 80% las fallas ocasionadas por perdidas de horas en plena producción. En comparación con la presente tesis la aplicación del AMEF a los motores eléctricos solo redujo en un 69% las horas perdidas en producción.

## **V. CONCLUSIÓN**

5.1. Para el análisis actual del mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos de la planta de procesos térmicos de la empresa cogorno S.A, fue necesario evaluar el comportamiento de los motores eléctricos en el periodo 2015, encontrando en operación constante a 185 motores, de los cuales 136 poseen rotor jaula ardilla y 49 poseen rotor de bobinado; además de perder 8715 horas de reparación en plena

producción en 1582 intervenciones, con un tiempo medio para reparar global de 5.509 horas/falla y tiempo medio entre fallas de 52.155 horas/falla.

5.2. Se pudo determinar los indicadores de mantenimiento, encontrando una disponibilidad entre el rango de 85% a 96.01%, confiabilidad de 80% a 93.63% y mantenibilidad de 4.34% a 22.93%. Por otro lado, los indicadores globales de todos los motores eléctricos en conjunto resultaron: disponibilidad 90.45%, confiabilidad 90.98% y mantenibilidad 7.19%.

5.3. En determinación como todos los motores eléctricos, tienen las mismas características de diseño, se procedió a evaluar los elementos en fallas, tales como: Estator, ventilador, rotor, rodamiento, eje de transmisión y fuente de alimentación; dichos elementos fueron sometidos a un análisis de criticidad sustentado en 6 criterios o impactos como: frecuencia de fallas, costos de producción, costos de mantenimiento, personal de mantenimiento, población y ambiente. La evaluación tuvo como único elemento crítico al rotor, y como semicríticos al estator y rodamientos, mientras el ventilador, eje y fuente de alimentación se clasificaron como no críticos.

5.4. Se desarrollaron las hojas de información y decisiones para los 13 modos de fallas de los elementos críticos y semicríticos para luego a través del número de prioridad de riesgo concluir que 9 (69%) de las fallas ocurridas son de tipo indeseable, 3 (23%) fallas reducibles a deseables y 1 (8%) falla aceptable.

5.5. Se elaboró un programa de actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad, basado en la solución descrita en las hojas de decisiones de los elementos críticos y semicríticos de los motores asíncronos trifásicos.

5.6. Se establecieron los costos generales (costos de producción y costos de mantenimientos) en estado actual, obteniendo 999727.14 S. /año, mientras que en

estado de mejora los costos generales se redujeron a 466221.96 S. /año, obteniendo un beneficio neto de 533505.18 S. /año.

5.7. La implementación del MBR, logro aumentar los indicadores de mantenimiento, la disponibilidad en el intervalo de 95.35% a 98.76% y confiabilidad de 93.75% a 98.14%, permitiendo mantener constante la mantenibilidad de 4.34% a 22.93%. Estos incrementos de los activos independientes, permite obtener los indicadores de mantenimiento en forma general en estado de mejora, obteniendo una disponibilidad del 97.04%, confiabilidad 97.31% y mantenibilidad constante de 7.19%.

## **VI. RECOMENDACIONES**

6.1. Es recomendable contar con motores sustitutos, en aquellos que son de gran tamaño o que desempeñan procesos claves en la producción de una planta. Esto con el fin de reducir al mínimo el tiempo de paro por fallas

6.2. Se recomienda un análisis de costos detallados, más precisos, con respecto a la compra, transporte u/o montaje de los materiales y tecnología a instalar.

6.3. Se recomienda un estudio de la vida útil a toda la maquinaria pesada de la empresa Cogorno S.A.

6.4. Se recomienda un análisis de costos de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos para cada maquinaria pesada, y así obtener su retorno operacional de la inversión.

#### IV. REFERENCIAS

**Améndola León, Luis José. 2002.** Modelos mixtos de confiabilidad. Segunda. España, valencia. Datastream, 2002. ISBN 978-84-940628-2-7.

**Ávila Espinosa, Rubén. 1992.** Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas. Primera reimpression. Cd. de México: Limusa Grupo Noriega Editores primera reimpression, 1992. ISBN 968-18-2528-4.



**Burga, Martín Da Costa. 2010.** Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. Lima : s.n., 2010.

**Camacho Chávez, Carlos Yoel & Aguilar Rodríguez, Segundo Enrique. 2008.** “Influencia del diseño e implementación de un plan mantenimiento centrado en la confiabilidad en la reducción, control de fallas y optimización de costos en el área de elaboración de azúcar en el complejo agroindustrial Cartavio S.A.A”. Trujillo – Perú: Universidad Cesar Vallejo.

**Caltenco Rosales, Mario. 2008.** “Criterios de ingeniería aplicables en la selección optima de motores trifásicos de inducción tipo jaula ardilla”. México, D.F. – México: Instituto Politécnico Nacional.

**Didier, José. 2010.** Periodo de recuperación de la inversión. *Pymes Futuro* . [En línea] 23 de Febrero de 2010. [Citado el: 5 de Junio de 2016.] <http://pymesfuturo.com/pri.htm>.

**Francisco A. Ruz; Cánovas, Francisco J y Molina, Jose M. 2011.** Motores y Máquinas Eléctricas. España : Marcombo, S.A. , 2011. ISBN 9788426717948.

**Garrido, Santiago García. 2012.** Ingeniería del mantenimiento. Madrid: RENOVOTEC Editorial, 2012. ISBN 84-616-5617-2.

**Helman Horacio y Pereira Paulo. 1995.** *Manual análisis de modo y efecto de Falla* (AMEF). [En línea] 2 de enero del 2009. [Citado el: 13 de febrero del 2016] Ford Motor Company. [www.fmeca.com].

**Lugo Castañeda, Karla Carolina; Mendoza Alvarado, Gabriel; Moisés Rales Hernández. 2011.** “Administración del mantenimiento preventivo a motores eléctricos de unidades de bombeo mecánico Distrito Poza Rica, para incrementar la producción” Xalapa – México: Universidad Veracruzana.

**Moubray Mitchell, John. 2004.** RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc. [ed.] Guilford and Rob Lockhart Biddles Limited. [Trad.] Sueiro y Asociados - Argentina Ellman. Primera en castellano. Leicestershire: Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 09539603-2-3.

**Pemex. 2010.** Metodología Análisis de Criticidad. Sistemas de Confiabilidad Operacional . [En línea] 4 de Febrero de 2010. [Citado el: 15 de Mayo de 2016.] [http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias\\_pdf/guia\\_sco\\_analisis\\_criticidad.pdf](http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/guia_sco_analisis_criticidad.pdf).

**Vásquez Oyarzun, David Esteban. 2008.** “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad rcm en motores detroit 16V-149TI en Codelco División Andina”. Valdivia – Chile: Universidad Austral De Chile.

**Kececiloglu, Dimitri. 1995.** Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering. New Jersey City: Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.

**Zambrano, Carlos. 2006.** Análisis de criticidad y confiabilidad en los equipos. [En línea] 14 de octubre del 2010. [Citado el: 03 de febrero del 2016.] [www.biblioteca@anz.udo.edu.ve]

**Cogorno S.A., © 2012 [Citado el:15 de Julio del 2016.], disponible en:** [http://www.cogorno.com.pe/?page\_id=4596]

## ANEXOS:

### A.1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Índices
¿En qué medida la aplicación de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad, aumentará la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo?	<p><b>Objetivo general:</b> Elaborar un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluar la situación actual del mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos de la planta de procesos térmicos de la empresa cogorno S.A.</li> <li>-Determinar los indicadores de mantenimiento: disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en condiciones actuales de cada uno de los motores asíncronos trifásicos y los indicadores globales.</li> <li>-Evaluar mediante un análisis de criticidad que elementos o sistemas activos de los motores asíncronos trifásicos son críticos, semicríticos y no críticos.</li> <li>-Desarrollar los AMEF (Análisis Modos y Efectos de fallo) para los sistemas críticos y semicríticos de los motores</li> </ul>	La elaboración de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad, si aumentará la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.	<p><b>Variables independientes:</b></p> <p>Sistema de Mantenimiento centrado en la confiabilidad.</p> <p><b>Variables dependientes:</b></p> <p>-Disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos.</p>	<p><b>Dimensión Singular</b></p> <p>Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo.</p> <p><b>Segunda Dimensión:</b></p> <p>Determinando los sistemas críticos, semi críticos y no críticos</p> <p><b>Tercera dimensión es:</b> Determinar los sistemas críticos y semicríticos</p> <p><b>Cuarta dimensión:</b></p> <p>Aumentar la Disponibilidad de los motores eléctricos alrededor de 6.59%</p>	<p>Disponibilidad.</p> <p>Confiabilidad.</p> <p>Mantenibilidad.</p>	<p>¿Cuáles son las principales maquinas o activos de accionamiento de los motores eléctricos?</p> <p>¿Cuál es el Tiempo para reparar para reparar cada motor eléctrico, en el año 2015?</p> <p>¿Cuáles son los costos unitarios de cada área de la planta de procesos térmicos?</p> <p>¿Cuál es el número de fallas de cada motor eléctrico en el año 2015?</p> <p>¿Cuál son los costos de producción, repuestos y mano de</p>



	<p>asíncronos trifásicos para el diseño de un plan RCM. Y determinar el número de prioridad de riesgos para clasificar cada modo de fallas en inaceptable, reducible a deseable y aceptable.</p> <p>-Elaborar un programa de actividades de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los elementos críticos y semicríticos de los motores eléctricos. - Estimar la reducción de los costos de producción y mantenimiento de los motores asíncronos trifásicos con la aplicación del plan RCM, para obtener el beneficio neto.</p> <p>-Estimar los indicadores del mantenimiento en condiciones de mejora para cada motor eléctrico dependiendo del tipo de activo o máquina de accionamiento y evaluación de los indicadores globales con la aplicación del RCM.</p>			<p>Aumentar la confiabilidad de los motores eléctricos alrededor de 6.33%</p> <p>Mantener la mantenibilidad de los motores eléctricos alrededor del 7.19%</p>		<p>motores eléctricos año 2015?</p>
--	---	--	--	---	--	-------------------------------------

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

## A.2. Formato de fichas de registro

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A						
TIPO DE ACTIVO	ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	
					N° Rotor Bobinado	
					POTENCIA (HP)	
					TENSIÓN (V)	
					AMPERAJE	
					RPM	
					TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	
N°	MODO DE FALLA		SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES	

--	--	--	--	--

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

### A.3. Fichas de registro de los 16 motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A, en el periodo 2015, durante el intervalo de tiempo (01/01/2015 -31/12/2015)

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A							
TIPO DE ACTIVO		ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	14
						N° Rotor Bobinado	3
						POTENCIA (HP)	3
						TENSIÓN (V)	220/380
MOTORES DE VENTILADORES DE FIDEOS		TRABATO Y PRESECADO	ISGEV	60867/194174/73580/194173 /73317/1256324/150695/199 4IMB3/61206673/2M7316/70 5127/141250/141251/159108 6/1215962/1592205/1217457	17	AMPERAJE	10.5/6.4
						RPM	2800
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	7555
N°	MODO DE FALLA			SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA		TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES
1	Sobrecalentamiento en los bobinados			Estator		73	9
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator			Estator		36	6

3	Tensión de fase desbalanceada	Estator	57	8
4	Arranques cíclicos	Estator	10	3
5	Obstrucción del sistema de ventilación	Ventilador	69	7
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	48	7
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	89	13
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	55	8
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	38	9
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	58	10
11	Ventilación insuficiente	Rotor	68	7
12	Altas vibraciones	Rodamientos	47	8
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	78	9
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	56	6
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	25	9
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	14	8
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	8	5
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	11	4
<b>Total</b>			<b>840</b>	<b>136</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.



FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A							
TIPO DE ACTIVO		ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	20
						N° Rotor Bobinado	7
						POTENCIA (HP)	1.5
						TENSIÓN (V)	220/380
MOTORES DE ELEVADOR CANGILONES		SECANTE	SIEMENS	551720/1592204/1592214/1592207/1592215/1592220/1592212/1592213/1592211/1592210/1592223/1592217/159221/1592208/1592218/1592222/1592209/1592216/1592219/1592224/551720/1519092/1591093/1591094/1591095/1591096/1591037	27	AMPERAJE	2.8/1.6
						RPM	3000
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	7388
N°	MODO DE FALLA			SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA		TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES
1	Sobrecalentamiento en los bobinados			Estator		87	13

2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator	Estator	45	11
3	Tensión de fase desbalanceada	Estator	66	13
4	Arranques cíclicos	Estator	19	8
5	Obstrucción del sistema de ventilación	Ventilador	78	12
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	57	12
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	98	18
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	64	13
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	47	14
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	67	15
11	Ventilación insuficiente	Rotor	77	12
12	Altas vibraciones	Rodamientos	56	13
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	87	14
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	65	11
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	34	14
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	23	13
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	17	10
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	20	9
<b>Total</b>			<b>1007</b>	<b>225</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A						
TIPO DE ACTIVO	ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	15
					N° Rotor Bobinado	4
					POTENCIA (HP)	0.75
					TENSIÓN (V)	220/440
					AMPERAJE	3.3/1.9
MOTORES DE FAJA TRANSPORTADORA	ENVASADORA	SIEMENS	22733/22734/735382/NV 7124/1LA70714YA80/1532 35/153236/1LA0704YC80/1 A70634ABO/LA80834AA10 /08027091868526/0802709 2387716/08027091868538/ 0802709238773/07101110 849030/A947/K8243/21200 240047/614012	19	RPM	2100
					TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	6986

N°	MODO DE FALLA	SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES
1	Sobrecalentamiento en los bobinados	Estator	82	15
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator	Estator	55	9
3	Tensión de fase desbalanceada	Estator	71	7
4	Arranques cíclicos	Estator	19	8
5	Obstrucción del sistema de ventilación	Ventilador	74	13
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	57	9
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	101	15
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	61	13
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	50	12
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	68	15
11	Ventilación insuficiente	Rotor	80	14
12	Altas vibraciones	Rodamientos	55	9
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	82	11
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	60	11
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	47	14
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	36	11
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	25	10
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	21	7

<b>Total</b>	<b>1044</b>	<b>203</b>
--------------	-------------	------------

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A						
TIPO DE ACTIVO	ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	21
					N° Rotor Bobinado	10
					POTENCIA (HP)	4
					TENSIÓN (V)	220/380
					AMPERAJE	14.9/8.6
			410195168601/579912/7538 98/1561555/1070200/810724		RPM	2880

MOTORES DE TORNILLO COMPRESOR		PRESECADO	SEW EURODRIVE	/795314/539394/1560753/15 60755/1560754/1560752/107 0199/645057/1070201/47464 8/64564/64565/121615/6738 2/921889/669461/669460/66 9458/669462/2854806/2TV1/ 1606595/87210319/8721031 9/87210319	31	<b>TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))</b>	7971
N°	MODO DE FALLA			SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES	
1	Sobrecalentamiento en los bobinados			Estator	71	17	
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator			Estator	34	9	
3	Tensión de fase desbalanceada			Estator	55	5	
4	Arranques cíclicos			Estator	8	9	
5	Obstrucción del sistema de ventilación			Ventilador	64	10	
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga			Rotor	41	9	
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor			Rotor	87	12	
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor			Rotor	51	9	
9	Arranques frecuentes del motor			Rotor	40	14	
10	Irregularidades en el entrehierro			Rotor	60	11	
11	Ventilación insuficiente			Rotor	69	17	
12	Altas vibraciones			Rodamientos	44	12	

13	Lubricación deficiente	Rodamientos	78	8
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	37	7
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	17	12
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	16	14
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	8	12
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	9	7
<b>Total</b>			<b>789</b>	<b>194</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A					
				N° Rotor Jaula Ardilla	5

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado  
 en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa  
 Cogorno S.A Trujillo

139

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco

TIPO DE ACTIVO		AREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Bobinado	4
						POTENCIA (HP)	0.62
						TENSIÓN (V)	220/380
						AMPERAJE	1.05/1.8
MOTORES DE CARRITOS ENFARDELADO		ENFARDELADO	ABB	703453/LA70734AB10/1LA70906AA10/LA70906AA10/397103A/1LA70634AB10/1LA70734AB10/1LA70906AA10/MVE 809	9	RPM	1100
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	
						7883	
N°	MODO DE FALLA			SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA		TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES
1	Sobrecalentamiento en los bobinados			Estator		37	7
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator			Estator		10	2
3	Tensión de fase desbalanceada			Estator		21	4
4	Arranques cíclicos			Estator		4	2
5	Obstrucción del sistema de ventilación			Ventilador		30	3
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga			Rotor		7	2
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor			Rotor		53	3
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor			Rotor		22	4
9	Arranques frecuentes del motor			Rotor		9	2
10	Irregularidades en el entrehierro			Rotor		16	5



11	Ventilación insuficiente	Rotor	25	6
12	Altas vibraciones	Rodamientos	10	3
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	44	8
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	3	1
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	15	2
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	2	1
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	12	2
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	8	1
<b>Total</b>			<b>328</b>	<b>58</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A							
TIPO DE ACTIVO		ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	8
						N° Rotor Bobinado	0
						POTENCIA (HP)	16
						TENSIÓN (V)	220/380
MOTORES DE TORNILLO DE PRENSA		PRENSA	ARZIGNANO	P1215/P1216/P1217/P1218/ P1219/P1220/P1221/P1222	8	AMPERAJE	76/44
						RPM	1170
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	7719
N°	MODO DE FALLA			SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES	
1	Sobrecalentamiento en los bobinados			Estator	65	5	
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator			Estator	38	3	
3	Tensión de fase desbalanceada			Estator	49	4	
4	Arranques cíclicos			Estator	32	4	
5	Obstrucción del sistema de ventilación			Ventilador	58	3	

6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	35	2
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	81	10
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	50	3
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	34	2
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	54	3
11	Ventilación insuficiente	Rotor	63	6
12	Altas vibraciones	Rodamientos	38	3
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	72	6
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	39	3
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	43	3
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	30	2
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	40	4
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	36	5
<b>Total</b>			<b>857</b>	<b>71</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A							
TIPO DE ACTIVO		ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	5
						N° Rotor Bobinado	1
						POTENCIA (HP)	2.2
						TENSIÓN (V)	220/380
MOTORES DE BOMBAS HIDROMETRICA		CALDERO	SELPEE - ITALY	2111/J05101061/310411/611231634/611231036/111013196	6	AMPERAJE	11/6.4
						RPM	1700
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	7719
N°	MODO DE FALLA			SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES	
1	Sobrecalentamiento en los bobinados			Estator	42	2	
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator			Estator	15	4	
3	Tensión de fase desbalanceada			Estator	26	3	

4	Arranques cíclicos	Estator	9	3
5	Obstrucción del sistema de ventilación	Ventilador	35	1
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	12	2
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	52	3
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	27	7
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	11	2
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	31	1
11	Ventilación insuficiente	Rotor	40	2
12	Altas vibraciones	Rodamientos	15	5
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	49	4
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	8	3
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	20	2
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	7	2
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	17	3
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	13	3
<b>Total</b>			<b>429</b>	<b>52</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A								
TIPO DE ACTIVO		ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla		2
						N° Rotor Bobinado		3
						POTENCIA (HP)		1.5
						TENSIÓN (V)		220/380
MOTORES DE COMPRESORES FRIGORÍFICOS		CHILLER	CALPEDA	111013197/111013198/111019576/111019577/111019578	5	AMPERAJE		7.3/4.2
						RPM		1110
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))		6937
N°	MODO DE FALLA				SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES	

1	Sobrecalentamiento en los bobinados	Estator	61	12
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator	Estator	34	4
3	Tensión de fase desbalanceada	Estator	45	6
4	Arranques cíclicos	Estator	28	4
5	Obstrucción del sistema de ventilación	Ventilador	54	5
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	31	4
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	60	7
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	41	6
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	30	4
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	50	7
11	Ventilación insuficiente	Rotor	59	8
12	Altas vibraciones	Rodamientos	34	5
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	68	10
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	27	3
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	31	4
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	26	3
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	36	4
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	13	5

<b>Total</b>	<b>728</b>	<b>101</b>
--------------	------------	------------

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A						
TIPO DE ACTIVO	ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	3
					N° Rotor Bobinado	1
					POTENCIA (HP)	15
					TENSIÓN (V)	220/440
					AMPERAJE	46/23
					RPM	2880



MOTORES DE BOMBAS DE VACIO		SALA DE LAVAMOLDES	SITI	111015088/781170/781171/781172	4	TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	6862
Nº	MODO DE FALLA				SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES
1	Sobrecalentamiento en los bobinados				Estator	37	10
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator				Estator	16	3
3	Tensión de fase desbalanceada				Estator	27	5
4	Arranques cíclicos				Estator	10	3
5	Obstrucción del sistema de ventilación				Ventilador	36	3
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga				Rotor	13	2
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor				Rotor	57	3
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor				Rotor	28	4
9	Arranques frecuentes del motor				Rotor	12	2
10	Irregularidades en el entrehierro				Rotor	32	6
11	Ventilación insuficiente				Rotor	41	7
12	Altas vibraciones				Rodamientos	16	4

13	Lubricación deficiente	Rodamientos	43	9
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	9	2
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	21	4
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	8	2
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	18	3
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	14	3
<b>Total</b>			<b>438</b>	<b>75</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A</b>					
	ÁREA DE UBICACIÓN EN				N° Rotor Jaula Ardilla
					8
					N° Rotor Bobinado
					2

“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado  
 en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa  
 Cogorno S.A Trujillo

150

Idrogo Cruzado, Wilmer Francisco

TIPO DE ACTIVO		PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	POTENCIA (HP)		22
						TENSIÓN (V)		220/380/440
MOTORES DE MOLINITO DE MARTILLOS		MOLINITO	WEG	1012749691/1012749692/1012749693/1012749694/68575/68576/685757/68578/68578/135028M14	10	AMPERAJE		72/42/36
						RPM		2100
						TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))		
N°	MODO DE FALLA				SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES	
1	Sobrecalentamiento en los bobinados				Estator	91	12	
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator				Estator	64	9	
3	Tensión de fase desbalanceada				Estator	75	5	
4	Arranques cíclicos				Estator	58	9	
5	Obstrucción del sistema de ventilación				Ventilador	84	10	
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga				Rotor	61	9	
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor				Rotor	104	12	
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor				Rotor	76	8	

9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	60	13
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	80	12
11	Ventilación insuficiente	Rotor	89	16
12	Altas vibraciones	Rodamientos	64	11
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	98	7
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	57	6
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	69	9
16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	56	13
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	66	11
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	62	8
<b>Total</b>			<b>1314</b>	<b>180</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE LA EMPRESA COGORNO S.A						
TIPO DE ACTIVO	ÁREA DE UBICACIÓN EN PLANTA DE PROCESOS	MARCA	SERIES DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS	N° DE MOTORES ASÍNCRONOS	N° Rotor Jaula Ardilla	35
					N° Rotor Bobinado	14
					POTENCIA (HP)	(4.8) (36)
					TENSIÓN (V)	(380) (380/440)
MOTORES DE REDUCTORES DE VELOCIDAD	ALMACEN SUMINISTROS	BROOK	L321R4/D590518/9350/130631M12/539405/E8161888301002/E8161888303001/705195/1031502400LB/1P63676602001/T4408460Z/E995801/111242M5/258583012/258583013/402324/402325/40287/73792/1050500/0714YA80/1010373404/190E/2316/912/7559/C170524/105704	(27)	AMPERAJE	(8.9) (96/48)
		DELCROSA	129570M3/1305934/1305935/181088M9/124197R/1605963/1605936/3013039416/BP10676301/128053M/129894M4/120786M21/132078M1/130740M5/130739R5/PB31010162/L509L2/130003M7/130740/K591600TN293/120786M7/12184M	(22)	RPM	(2800) (1110)
				49	TIEMPO DE OPERACIÓN REAL DE UTILIZACIÓN (horas/ año(2015))	7613

N°	MODO DE FALLA	SISTEMA/ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO REPARAR LA FALLA (horas/año)	INTERVENCIONES
1	Sobrecalentamiento en los bobinados	Estator	70	18
2	Cortocircuito en el enrollamiento del estator	Estator	43	15
3	Tensión de fase desbalanceada	Estator	58	11
4	Arranques cíclicos	Estator	41	15
5	Obstrucción del sistema de ventilación	Ventilador	64	16
6	Rotura de barras del rotor debido a la fatiga	Rotor	41	15
7	Altas temperaturas en las barras y los anillos del rotor	Rotor	87	18
8	Rotor bloqueado debido a grandes cargas impuestas en el eje del motor	Rotor	57	10
9	Arranques frecuentes del motor	Rotor	38	19
10	Irregularidades en el entrehierro	Rotor	58	21
11	Ventilación insuficiente	Rotor	67	22
12	Altas vibraciones	Rodamientos	42	17
13	Lubricación deficiente	Rodamientos	76	13
14	Cojinetes desgastados	Rodamientos	39	12
15	Desalineamiento de eje provocando roce del rotor con el estator	Eje	46	15

16	Cojinetes demasiado ajustados	Eje	33	19
17	Fallo a tierra	Fuente de alimentación	42	17
18	Interrupción en alguna fase	Fuente de alimentación	39	14
<b>Total</b>			<b>941</b>	<b>287</b>

Fuente: Supervisión de mantenimiento de la Empresa Cogorno S.A -Trujillo.

#### A.4. Costos unitarios de pérdidas de producción de las áreas de la planta de procesos térmicos – Cogorno S.A

N°	ÁREA	COSTO UNITARIO (S. /hora)
1	TRABATO Y PRESECADO	64.83
2	SECANTE	105.65
3	ENVASADORA	62.45
4	PRESECADO	56.71
5	ENFARDELADO	32
6	PRENSA	125.24
7	CALDERA	25.21
8	CHILLER	45
9	SALA DE LAVAMOLDES	36.15
10	MOLINITO	205.89

11	ALMACEN SUMINISTROS	24.57
----	---------------------	-------

Fuente: Departamento de logística– Empresa Cogorno S.A – Trujillo, Año 2015

#### A.5. Reportes de costos de repuestos de los motores asíncronos trifásicos

TIPO DE ACTIVO	ESTATOR	VENTILADOR	ROTOR	RODAMIENTO	EJE	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	TOTAL S. /año
MOTORES DE VENTILADORES DE FIDEOS	3059.39	1529.70	4589.09	2294.54	1835.64	305.94	13614.30
MOTORES DE ELEVADOR CANGILONES	5976.94	2988.47	8965.41	4482.71	3586.16	597.69	26597.39
MOTORES DE FAJA TRANSPORTADORA	3662.80	1831.40	5494.20	2747.10	2197.68	366.28	16299.45
MOTORES DE TORNILLO COMPRESOR	2513.72	1256.86	3770.58	1885.29	1508.23	251.37	11186.05
MOTORES DE CARRITOS ENFARDELADO	589.66	294.83	884.49	442.25	353.80	58.97	2624.00
MOTORES DE TORNILLO DE PRENSA	6029.81	3014.91	9044.72	4522.36	3617.89	602.98	26832.67
MOTORES DE BOMBAS HIDROMETRICA	607.59	303.79	911.38	455.69	364.55	60.76	2703.77

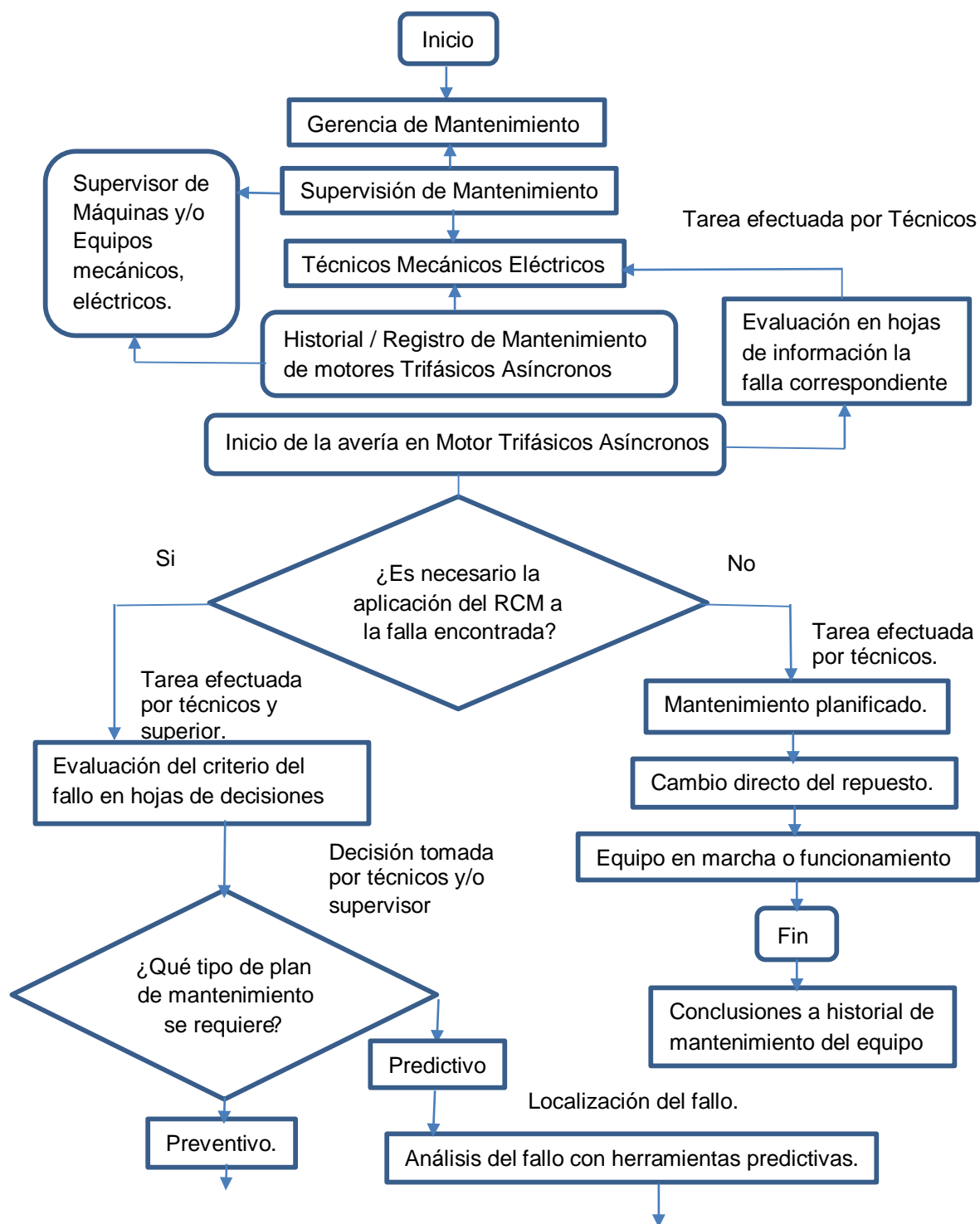
“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo



MOTORES DE COMPRESORES FRIGORÍFICOS	1840.45	920.22	2760.67	1380.34	1104.27	184.04	8190.00
MOTORES DE BOMBAS DE VACIO	889.53	444.77	1334.30	667.15	533.72	88.95	3958.43
MOTORES DE MOLINITO DE MARTILLOS	15198.85	7599.42	22798.27	11399.13	9119.31	1519.88	67634.87
MOTORES DE REDUCTORES DE VELOCIDAD	1298.90	649.45	1948.35	974.17	779.34	129.89	5780.09
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>41667.64</b>	<b>20833.82</b>	<b>62501.46</b>	<b>31250.73</b>	<b>25000.59</b>	<b>4166.76</b>	<b>185421</b>

Fuente: Departamento de Logística – Empresa Cogorno S.A – Trujillo, Año 2016

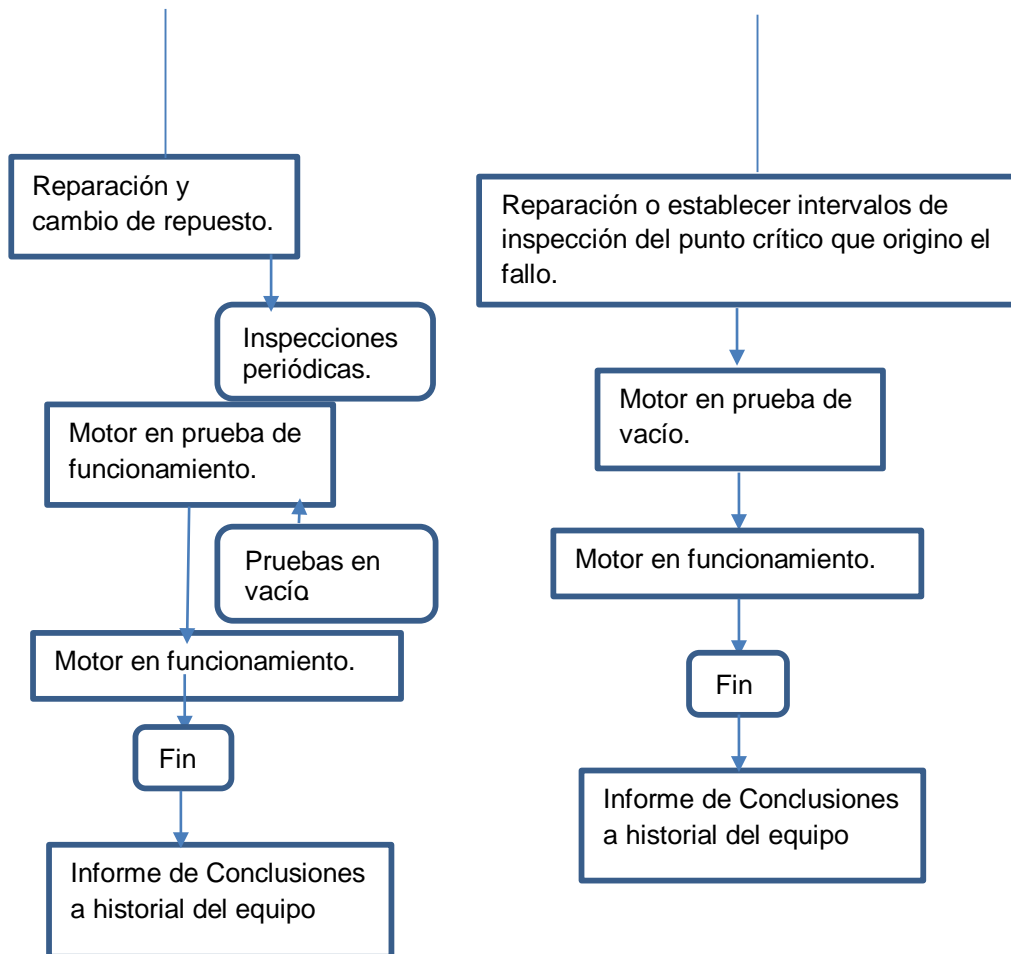
**A.6. Trazabilidad del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a los motores trifásicos Asíncronos de la Empresa Cogorno S.A. - Trujillo**



Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”

142

Idrogo Cruzado, Wilmer



Fuente: Elaboración propia.

**A.7. Cuestionario dirigido a los técnicos:****PROYECTO DE TESIS**

“Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A”

**Cuestionario dirigido a los técnicos** mecánicos y eléctricos del área de mantenimiento de la planta de procesos térmicos de la empresa Cogorno S.A.

**Objetivo:** Recoger información de los motores eléctricos asíncronos trifásicos que trabajan en las líneas de producción de pasta, harina y alimento balanceado de la empresa Cogorno S.A, con respecto a su mantenimiento y operación.

**DATOS PERSONALES**

**Nombre(s) y apellidos:** \_\_\_\_\_

**Cargo en la empresa:** \_\_\_\_\_

**Nivel educativo:** \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** A continuación, se presentan una serie de preguntas que usted debe responder, por favor marcar con una (X) su respuesta o indique la información requerida, según corresponda.

**1. ¿Cuáles son los datos técnicos del motor a su cargo?****Modelo:** \_\_\_\_\_ **Serie:** \_\_\_\_\_ **Tiempo de operación:** \_\_\_\_\_**Potencia nominal:** \_\_\_\_\_**Máquina de accionamiento:** \_\_\_\_\_**Línea de producción:** \_\_\_\_\_**6. ¿Cuál es el tipo de rotor del motor a su cargo?**a) Rotor Jaula Ardilla ☐b) Rotor de Bobinado ☐**3. ¿Cuál es el tipo de arranque del motor asíncrono trifásico?**.....  
.....**4. ¿Cuál es el rango de temperatura de operación normal del motor?**a) Mínima  °Cb) Máxima  °C**5.- ¿Qué sistema de lubricación se utiliza en los motores eléctricos?**

Por chorro.

☐ Por goteo. ☐**6. ¿Cuál es tipo de mantenimiento aplicado al motor asíncrono?**

a) Mantenimiento correctivo.

c) Mantenimiento Preventivo.

d) Mantenimiento Predictivo.

**7. ¿Marca la actividad de mantenimientos preventivos, correctivos y con qué frecuencia se realizó en el periodo 2015 al motor? a) Lubricación.**

b) Cambio de rodamientos. ☐

c) Cambio de ventilador. ☐

d) Medición de amperaje. ☐

e) Reparación de bobinado. ☐

☐

**8.- ¿Cuenta con repuestos en stock en el almacén?**

Sí

☐

No

☐

**9.- ¿Cuales son dichos repuestos con los que cuenta?**

.....

.....

.....

**10.- ¿Que repuestos faltan implementar en almacén?**

.....

.....

.....

.....

.....

**11. ¿Marque las fallas y escriba la frecuencia con qué ocurren en el motor durante el periodo 2015?**

- a) Calentamiento de las bobinas. ☐
- b) Surcos en las pistas rotor. ☐
- c) El motor arranca vacío, pero falla cuando se aplica carga. ☐
- d) Operación ruidosa cuando está desacoplado. ☐
- e) El motor funciona a una velocidad muy baja. ☐
- f) Chispas. ☐
- g) Alto ruido de la bobina y un excesivo calentamiento de la bobina. ☐
- h) El motor no arranca ni acoplado, ni desacoplado. ☐
- i) La bobina del estator se calienta mucho con carga. J) Corriente a vacío ☐  
está muy alta. ☐
- k) Calentamientos localizados en la bobina del estator. ☐
- l) Calentamientos localizados en el rotor. ☐
- m) Cuando está acoplado aparece un ruido. ☐
- n) Manchas oscuras en un lado de la pista de la bobina. ☐
- ñ) Líneas oscuras bastantes juntas en las pistas o ranuras transversales. ☐
- o) Ruido anormal durante la operación con carga. ☐
- p) La corriente del estator oscila en carga con el doble de frecuencia. ☐

Fuente: Elaboración propia.

## A.8. Cuestionario dirigido al área administrativa.

### PROYECTO DE TESIS

“Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores  
asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A”

**Cuestionario dirigido al área administrativa** de la empresa Cogorno S.A.



**Objetivo:** Recoger información de costos de reparación de los motores eléctricos asíncronos trifásicos que trabajan en las líneas de producción de pasta, harina y alimento balanceado de la empresa Cogorno S.A, con respecto a su mantenimiento y operación.

**DATOS PERSONALES**

Nombre(s) y apellidos: \_\_\_\_\_

Cargo en la empresa: \_\_\_\_\_

Nivel educativo: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** A continuación, se presentan una serie de preguntas que usted debe responder, por favor marcar con una (X) su respuesta o indique la información requerida, según corresponda.

**1.- ¿Cuál es la política de adquisición de repuestos por lo general?****Repuestos de calidad:**☐

Alta

☐

Intermedia

☐

Baja

Porque.....  
.....  
.....

**2.- ¿Según la política de adquisición de repuestos cuál es su relación con sistema de mantenimiento?**

.....  
.....  
.....

**7. ¿Cuáles son las marcas de repuestos más frecuente que compra la empresa Cogorno S.A. para los motores asíncronos trifásicos?**

.....  
.....  
.....

#### 4.- ¿Cómo se realiza la reparación de motores asíncrono trifásico?

☐ Técnicos de la empresa ☐ Mismo fabricante

☐ Talleres locales

#### 5.- ¿Qué porcentaje del plan de inversión anual se destina para gastos de mantenimiento y su costo total en soles?

.....

.....

#### 6.- ¿Tienen stock en el almacén repuestos de los motores críticos de la empresa?

.....

.....

#### 7.- ¿El estado de conservación de los repuestos en almacén es el adecuado?

Sí ☐ No ☐

Porque.....

.....

.....

Fuente: Elaboración propia.

#### A.9. Ficha de resultados

FUNCION:	MOTOR DE ACCIONAMIENTO DE VENTILADOR DE TIRO FORZADO			
DATA DEL MOTOR ASINCRONO TRIFASICO EN CONDICIONES ACTUALES				
TTP (h/año)	TPR (h/año)	TEF (h/año)	n (fallas/año)	

<b>TIEMPOS MEDIOS DEL MANTENIMIENTO</b>			
<b>TMEF (h. operación/falla)</b>	<b>TMPR (h. reparación /falla)</b>		
<b>FACTORES O TASAS DEL MANTENIMIENTO</b>			
<b><math>\lambda</math> (falla/h. operación)</b>	<b><math>\mu</math> (falla/h. reparación)</b>		
<b>INDICADORES EN ESTADO ACTUAL DEL MOTOR ELÉCTRICO</b>			
<b>D (%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>M(%)</b>	

**ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

<b>TPR</b>		<b>COSTO DE REPARACION</b>		<b>IMPACTOS DE PRODUCCION (IP)</b>		<b>CONSECUENCIA O IMPACTO</b>	
<b>COSTO UNITARIO DE PRODUCCION</b>		<b>COSTO DE MANO DE OBRA</b>		<b>IMPACTO EN MANTENIMIENTO (IM)</b>			
<b>IP</b>		<b>DI</b>		<b>IMPACTO AMBIENTAL (IA)</b>		<b>FRECUENCIA</b>	
				<b>EFFECTO EN LA POBLACION (EP)</b>			
				<b>DAÑO AL PERSONAL (DP)</b>			

<b>CRITICIDAD</b>		<b>Criticidad Alta</b>	(A)	<b>Color Rojo</b>	50 ≤ Criticidad ≤ 125
<b>FRECUENCIA</b>		<b>Criticidad Media</b>	(B)	<b>Color Amarillo</b>	30 ≤ Criticidad ≤ 49
<b>CONSECUENCIA</b>		<b>Criticidad Baja</b>	(C)	<b>Color Verde</b>	5 ≤ Criticidad ≤ 29

<b>HOJAS DE INFORMACIÓN</b>							
Nombre del equipo:							
sistema:							
<b>Pieza</b>	<b>Función que desempeña (F)</b>		<b>Modo de fallo funcional (FF)</b>		<b>Causas potenciales de fallo(FM)</b>		

[illegible]


DATA DEL MOTOR ASINCRONO TRIFASICO EN CONDICIONES DE MEJORA			
TTP (h/año)	TPR (h/año)	TEF (h/año)	n (fallas/año)
TIEMPOS MEDIOS DEL MANTENIMIENTO			
TMEF (h. operación/falla)	TMPR (h. reparación /falla)		
FACTORES O TASAS DEL MANTENIMIENTO			
$\lambda$ (falla/h. operación)	$\mu$ (falla/h. reparación)		
INDICADORES EN ESTADO ACTUAL DEL MOTOR ELÉCTRICO			
D (%)	C (%)	M (%)	

Fuente: Elaboración propia.

### Legenda de la ficha de resultados

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	FORMULA
TTP	Tiempo total para producir	$TTP = TTP_{2015}$
TPR	Tiempo total para reparar	$TPR = \sum TPR_i$
TEF	Tiempo total entre fallas	$TEF = TTP - TPR$
n	Número de fallas	$n = \sum n_i$
TMEF	Tiempo medio entre fallas	$TMEF = \frac{TEF}{n}$
TMPR	Tiempo medio para reparar	$TMPR = \frac{TPR}{n}$
$\lambda$	Tasa de fallas	$\lambda = \frac{1}{TMEF}$
$\mu$	Tasa de reparaciones	$\mu = \frac{1}{TMPR}$
D(t)	Disponibilidad	$D(t) = \left( \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) * 100\%$
C(t)	Confiabilidad	$C(t) = \left( e^{\frac{-\lambda * Tpo}{100}} \right) * 100\%$
M(t)	Mantenibilidad	$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-\mu * Tpo}{100}} \right) * 100\%$
C	Criticidad	$C = \%Sectores * \sum (\%Factores * \%Reglones)$
NPR	Número de prioridad de riesgos	$NPR = G * O * D$
Cm	Costos de mantenimientos	Cm= Costos de mano de obra+ costos en repuestos
Cp	Costos de producción	$Cp = Cm + Cup$

Fuente: Elaboración propia.

## **A.10. Hoja de validación de datos – Supervisión de mantenimiento de la empresa Cogorno S.A.C.**

**CONSTANCIA DE OBTENCIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA  
ELABORACIÓN DE TESIS****A QUIEN CORRESPONDE:**

Por la presente dejamos constancia que al señor **WILMER FRANCISCO IDROGO CRUZADO**, Identificado con DNI N° 73682280, se le está brindando toda la información referente al Mantenimiento y operación de los 184 Motores Asíncronos Trifásicos, de la planta de procesos térmicos de la Empresa Cogorno S.A.A – Trujillo. Basado en el único objetivo de desarrollar la tesis que lleva por título: **“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”**

Otorgamos la presente constancia a solicitud del interesado, para fines prescritos.

Lunes, 18 de julio del 2016

  
**COGORNO S.A.**  
-----  
*Teófilo De La Cruz Asmat*  
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO



**A.11. Hoja de validación de datos –Departamento de Logística de la empresa  
Cogorno S.A.C.**

**CONSTANCIA DE OBTENCIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA  
ELABORACIÓN DE TESIS**

**A QUIEN CORRESPONDE:**

Por la presente dejamos constancia que al señor **WILMER FRANCISCO IDROGO CRUZADO**, Identificado con DNI N° 73682280, se le está brindando toda la información referente a los costos de producción de áreas, respecto a los tipos de activos accionados por los Motores Asíncronos Trifásicos, de la planta de procesos térmicos de la Empresa Cogorno S.A.A – Trujillo. Basado en el único objetivo de desarrollar la tesis que lleva por título: **“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”**

Otorgamos la presente constancia a solicitud del interesado, para fines prescritos.

Domingo, 17 de julio del 2016



**A.12. Hoja de validación de Resultados de la tesis: “Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”**

**CONSTANCIA DE VALIDACION DE RESULTADOS**

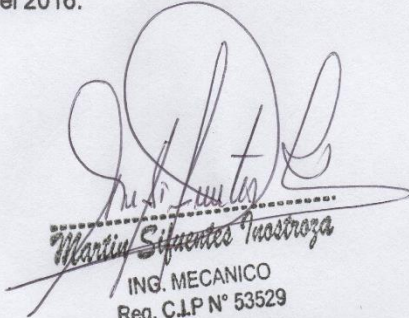
Yo Martín Teófilo Sifuentes Inostroza con DNI No. 7828568  
, de profesión Ingeniero Mecánico, ejerciendo actual como Asesor  
Especialista de tesis / Experto en tesis de Mantenimiento.

**A QUIEN CORRESPONDE:**

Por medio de la presente hago constar que he revisado los resultados de la tesis titulada:  
“Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”.  
Con fines de Validación, obteniendo mi aprobación como experto en el área de gestión de mantenimiento y experiencia como asesor de tesis en mantenimiento.

Otorgo la presente constancia a solicitud del interesado, para fines prescritos.

Lunes 15 de agosto del 2016.

  
ING. MECANICO  
Reg. C.I.P N° 53529

**Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza**

**A.13. Hoja de validación de Resultados de la tesis: “Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo”**

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS**

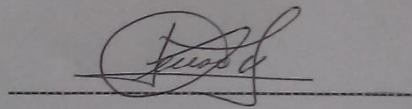
Yo **Jorge Antonio Inciso Vásquez** con DNI N° 26695389, N° Colegiado: **Cip 88717**, de profesión **Ingeniero Mecánico** ejerciendo actual como **Docente de tesis y experto en asesoramiento de tesis de mantenimiento**.

**A QUIEN CORRESPONDE:**

Por medio de la presente hago constar que he revisado el instrumento de recolección de datos de la tesis titulada: "Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S.A Trujillo". Con finalidad de validar el instrumento de recolección de datos, obteniendo mi aprobación como experto en el área de gestión de mantenimiento y experiencia en dichos instrumentos como asesor de tesis en mantenimiento.

Otorgo la presente constancia a solicitud del interesado, para fines prescritos.

Martes 16 de agosto del 2016.



**Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez**